

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Leena Hyttinen

Uudelleengranuloidun muovimateriaalin vähentyneet  
ympäristövaikutukset ja kustannussäästöt

Opinnäytetyö  
Tammikuu 2014



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Tammikuu 2014**  
**Ympäristötekniologia:n**  
**koulutusohjelma**

Sirkkalantie 12 A  
80100 JOENSUU  
Puh: 358-13-260 6900

Tekijä  
Leena Hyttinen

Nimeke  
Uudelleengranuloidun muovimateriaalin vähentyneet ympäristövaikutukset ja kustannussäästöt.

Toimeksiantaja Amcor Flexibles Finland Oy, Lieksan tehdas

**Tiivistelmä**

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää polyeteenijätteen käyttämisestä johtuva hiilidioksidipäästöjen vähennys. Hiilidioksidipäästöjen laskemiseen käytettiin elinkaarianalyysiohjelmaa. Elinkaarianalyysi tehtiin kahdella ohjelmalla: SimaPRO-ohjelmalla ja Amcorin omalla ASSET-ohjelmalla. Toisena selvitettävä asiana olivat kustannussäästöt.

Elinkaarianalyysi vertaa perustuotetta ja uutta tuotetta keskenään. Perustuote on filmi, jossa käytetään pelkästään neitseellisiä raaka-aineita. Uusi tuote on filmi, jossa käytetään neitseellisissä raaka-aineita mutta myös pieniä määriä kierrätettyä materiaalia. Elinkaariohjelman syöteinä ovat raaka-aineiden käytöt, kuljetusmatkat, jätteet, energian kulutus sekä vedenkäyttö. Tuotoksina ovat ympäristövaikutukset. Kustannussäästöt laskettiin vertaamalla regranuloidun materiaalin kustannuksia ostetun neitseellisen tuotteen hintaan. Huomioon otettiin myös jättemateriaalin myynnistä saadut tulot.

Tämä opinnäytetyö osoittaa, että vähäinenkin polyeteenijätteen kierrättäminen vähentää hiilidioksidipäästöjä sekä tuo kustannussäästöjä. Hiilidioksidipäästöt vähenivät hieman alle 10%. Kustannussäästöt ovat tuhansia euroja. On tarkasteltava, voitaisiinko kierrätettävän jätteen määrää hieman lisätä sekä voitaisiinko kehittää kokonaan uusi, paljon kierrätettävää materiaalia sisältävä polyeteenikalvo.

Kieli  
suomi

Sivuja 60  
Liitteet 1  
Liitesivumäärä 1

Asiasanat  
Hiilidioksidipäästöt, uudelleenkäyttö, jäte, elinkaarianalyysi.



**THESIS**  
**January 2014**  
**Degree Programme in environment**  
**technology**  
 Sirkkalantie 12 A  
 FIN 80100 JOENSUU  
 FINLAND  
 Tel. 358-13-260 6900

Author(s)

Leena Hyttinen

Title

Decreasing carbon dioxide emissions and cost savings of reusing re-granulated plastic material

Commissioned by Amcor Flexibles Finland Oy, Lieksa

Abstract

The purpose of this thesis was to resolve decreasing of carbon dioxide emissions of polyethylene waste reuse, using life cycle assessment. LCA was made by using two LCA-programs: SimaPro and Amcor's own in-house LCA-program. Decreasing financial cost was the second issue to be clarified.

LCA compares basic product and new product. Basic product is a film, which contains only virgin materials and new product is a film containing mainly virgin materials but also small amounts of recycled material. LCA inputs are raw material amounts, transportation, wastes and energy and water consumption.

Outputs are environmental impacts. Financial costs were counted using virgin raw material purchase prices compared with costs of re-granulated material. Also sales revenue of waste material was taken into account.

This analysis shows that carbon dioxide emissions decrease when using even small amounts of recycled material in product. Carbon dioxide emissions decreased a bit less than 10 %. Reuse is also profitable. Cost savings are big. It should be considered if amount of reused pe-waste could be increased in product. It should also be considered developing a totally new pe-film containing large amount of reused pe-waste material.

Language  
Finnish

Pages  
Appendices 1  
Pages of Appendices 1

60

Keywords

CO<sub>2</sub> emissions, reuse, waste, life cycle assessment

Nimiö

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet

Sanasto

1 Johdanto .....	8
2 Opinnäytetyön tietoperusta .....	10
2.1 Kestävä kehitys.....	11
2.1.1 Ekologinen kestävä kehitys.....	12
2.1.2 Taloudellinen kestävä kehitys .....	12
2.1.3 Sosiaalinen ja kulttuurinen kestävä kehitys.....	12
2.2 Teollinen ekologia .....	13
2.2.1 Maantieteellinen teollinen ekologia .....	14
2.2.2 Tuotelähtöinen teollinen ekologia .....	15
2.2.3 Kestävää tuotesuunnittelua, ecodesign .....	16
2.2.3 Resurssitehokas Eurooppa.....	16
2.3 Lainsäädäntö ja politiikka.....	17
2.3.1 Euroopan Unionin jätedirektiivi .....	17
2.3.2 Euroopan unionin direktiivi pakkauksista ja pakkausjätteistä ....	18
2.3.3 Suomen jätelaki .....	19
2.3.4 Suomen ympäristösuojelulaki .....	19
2.4 Muovit .....	19
2.4.1 Muovien lajittelu .....	19
2.4.2 Muovien lajittelu käyttömäärän mukaan.....	20
2.4.3 Muovien rakenteen ja muovattavuuden mukainen lajittelu .....	20
2.4.4 Muovin alkuperän mukainen lajittelu .....	20
2.4.5 Polymeeri.....	21
2.4.6 Polyeteeni .....	21
2.4.7 Lieksassa mekaanisesti kierrätettävät polyeteenikalvot.....	21
2.4.8 Muovi pakkausteollisuudessa .....	23
2.4.9 Öljyn käyttö muoveissa .....	23
2.5 Ekstruusiopuhallus.....	24
2.6 Uudelleengranulointi prosessi.....	27
2.6.1 Materiaalin syöttö.....	27
2.6.2 Menetelmäyhdistelmä .....	28
2.6.3 Granulointiyksikkö.....	29

2.9 Ympäristövaikutukset.....	31
2.9.1 Kasvihuoneilmiö ja ilmaston muutos .....	31
2.9.3 Otsonikato.....	34
2.9.4 Happamoituminen.....	34
2.9.4 Rehevöityminen .....	34
3 Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimustehtävä .....	35
4 Aineisto ja menetelmät.....	37
4.1 Elinkaari inventaario.....	38
4.2. Elinkaarianalyysi .....	38
4.2.1 Määrittelyvaihe.....	39
4.2.2 Inventointi, raaka-aineet, jätteet, energia, vesi ja kuljetukset ....	40
4.2.3 Vaikutusarviointi.....	46
4.3 EPD 2008 .....	48
4.4 Kustannussäästöt .....	48
5 Tulokset .....	49
5.1 Ympäristövaikutusten arviointi .....	49
6 Tulosten tulkinta.....	51
6.2 Vaikutusarviointi.....	52
Lähteet.....	56

## Lyhenteet

CO <sub>2</sub> eq	Hiilidioksidiekvivalentti.
EPD (2008)	Environment Product Declarations, tuotteen ympäristöseloste.
EVOH	Ethylvinylalcohol, etyylivinyylialkoholi.
GWP <sub>100</sub>	Global warming potential, Ilmaston lämpenemispotentiaali.
ISO	International Organization for Standardization, maailmanlaajuinen kansallisten standardoimisjärjestöjen liitto.
LCA	Life cycle assesment, elinkaariarviointi.
LCI	Life cycle inventory, elinkaari-inventointi.
LCIA	Life cycle inventory assessment, vaikutusarviointi.
LLDPE	Linear low density, lineaarinen pientiheyspolyeteeni.
LDPE	Low density, pientiheyspolyeteeni.
ODP	Ozone layer depletion, otsonikato.
PE	Polyeteeni.
PPM	Parts per million, miljoonasosa.
SFS	Suomen Standardoimisliitto.

## Sanasto

Allokointi	Kohdentaminen.
Apuaine	Aineita joita käytetään muovin prosessoinnin parantamiseen.
Ekstruusio	Suulakepuristus on menetelmä, jossa muoviraaka-aine sulatetaan ja muotoillaan jatkuvassa prosessissa suulakkeen läpi halutun muotoiseksi tuotteeksi.
Granulaatti	Kestomuovituotteiden valmistukseen käytettävä raemainen materiaali.
Jäte	<i>Jätteellä</i> tarkoitetaan ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä (646/2011, 5 §).
Kestomuovi	Muovi, joka voidaan muovata uudestaan lämmön avulla (esim. PE, PP).
Koekstruusio	Menetelmä jossa useasta ekstruuderista tuleva muovi syötetään samaan suuttimeen.
Koronointi	Sähkökäsittely, joka parantaa painovärin tai liiman kiinni pysyvyyttä muovikalvossa.
Lusaaminen	Muovikalvon poistaminen kalvorullasta joko yksi tai useampi kerros kerrallaan.
Muovi	Muovit ovat keinoitekoisesti valmistettuja orgaanisia yhdisteitä.
Neitseellinen raaka-aine	Uusi, kierrättämätön raaka-aine.
Re-granulointi	Uudelleengranulointi. Saattaa tuote uudelleen raemaiseen muotoon.
Tuoreistaminen	Tässä yhteydessä, veden tuoreistaminen. Poistetaan osa käytetystä vedestä ja lisätään saman verran puhdasta vettä tilalle.
Uudelleen käyttö	Toimet, joilla jätettä pystytään käyttämään uudelleen tai sitä käytetään samanlaiseen tehtävään kuin se oli alun perin tarkoitettu.

## 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan elinkaarianalyysin avulla, kuinka joustopakkausmateriaaleja valmistavassa yrityksessä jättemateriaalin mekaaninen kierrätys vähentää ympäristövaikutuksia ja kustannuksia. Tulokset on saatu käyttäen sekä tuotantotietoja että energian- ja vedenkulutustietoja. Opinnäytetyössä selvitetään millä toimilla niin maailmanlaajuisesti kuin kansallisestikin pyritään ohjaamaan enenevissä määrin jätteiden hyödyntämistä ja toimimaan myös muutoin energia- ja materiaalitehokkaammin. Tietoperustana käytettiin kahta maailmanlaajuista ajatustapaa; kestäväää kehitystä, sekä teollista ekologiaa että niitä tukevaa politiikkaa ja lainsäädäntöä.

Amcor Flexibles Finland Oy Lieksan tehdas (AF Lieksa) valmistaa pakkausmateriaaleja elintarvike-, lääke- sekä non-food-teollisuuden käyttöön. AFF Lieksan tehtaalla on pyritty mahdollisuuksien mukaan jätteiden hyödyntämiseen ja kierrättämiseen. Uudelleengranulointikone mahdollistaa kestopuovisen polyeteenikalvojäätteen osittaisen uusiokäytön mekaanisen kierrätyksen avulla. Kaikkia Lieksan tehtaalla valmistettavia polyeteenikalvolajeja ei voida mekaanisesti kierrättää.

Tutkittavana kohteena oli Lieksan tehtaalla valmistettava polyeteenikalvo. Tarkasteltavana oli ns. peelautuva eli avattava kalvo, joka laminoidaan eli liimataan muihin kalvoihin. Avautuvaa laatua kierrätetään mekaanisesti, eli se granuloidaan uudelleen. Uudelleengranulointi tarkoittaa muovinkalvon saattamista uudelleen raemaiseen muotoon. Avautuvista polyeteenilaaduista tehdään yhtä raemaista regranulaattilaatua (RLP). Uudelleen granuloitavana materiaalina käytetään pelkästään Lieksan polyeteeni puhalluskalvolinjan puhdasta kalvojäätettä.

Aiemmin polyeteenilinjalla valmistettaviin kalvoihin käytettiin vain neitseellisiä raaka-aineita. Nyt uudelleengranulointikoneen hankinnan jälkeen mekaanisesti käsiteltyä jättemateriaalia käytetään muutamissa polyeteeni laaduissa.



Ensisijaisesti uudelleengranuloitavaksi on valikoitu polyeteenikalvolaadut, joihin voidaan käyttää uusiomateriaalia kalvon laadun siitä kärsimättä. Toissijaisena valintakriteerinä ovat olleet polyeteenikalvolaadun tuotannolliset määrät.

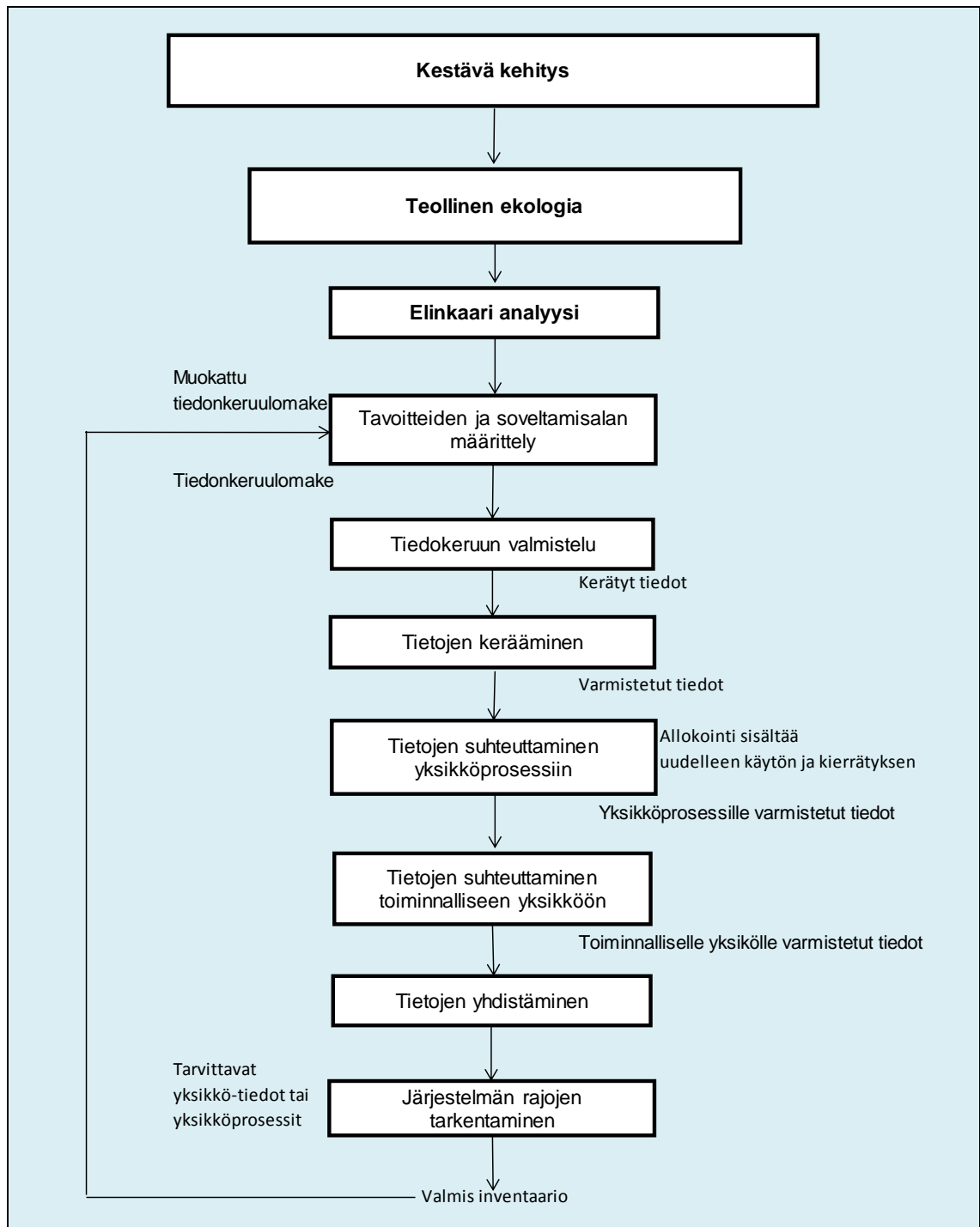
Ympäristövaikutuksia tutkittiin tekemällä kaksi elinkaarianalyysiä, sekä SimaPro- että Amcorin omalla ASSET-elinkaarianalyysiohjelmalla. Peruskalvona oli kalvo, jossa on käytetty vain neitseellisiä raaka-aineita. Peruskalvon tuloksia vertailtiin kalvoon, jossa on käytetty neitseellisen raaka-aineen lisäksi pieni määrä mekaanisesti kierrätettyä polyeteenigranulaattia.

Amcor on kehittänyt oman pakkausteollisuudelle tarkoitetun ASSET elinkaarianalyysi ohjelman omiin tarpeisiinsa. Kyseisessä elinkaarianalyysiohjelmassa on käytetty hyväksi osin samoja tietolähteitä mitä SimaPro-ohjelmassa on, ja se on kolmannen osapuolen auditoima. SimaPro puolestaan on yleisesti käytetty elinkaarianalyysiohjelma.

Elinkaarianalyysien tekoa ohjasivat elinkaarianalyysistandardit ISO 14040 ja ISO 14044. Standardi ISO 14040 esittelee elinkaariarvioinnin pääpiirteet ja periaatteet. ISO 14044 sisältää yksityiskohtaisempia vaatimuksia ja suuntaviivoja.

SimaPro-ohjelman metodina käytettiin EPD (2008) ympäristöselostetta (environment product declaration). EPD (2008) metodissa raportoidaan vain yksi vaikutusluokka. Elinkaarianalyysissä tarkastellaan tuotteen ympäristövaikutuksia sen olemassaolon aikana. Ympäristövaikutuksia ovat hiilidioksidi päästöt, happamoituminen, ilmaston lämpeneminen, otsonikerroksen ohentuminen, rehevöityminen, valokemiallinen hapettuminen ja fossiilisten luonnonvarojen käyttö.

## 2 Opinnäytetyön tietoperusta



Kuvio 1. Yksinkertaistetut inventaarioanalyysimenettelyt, ISO 14044.

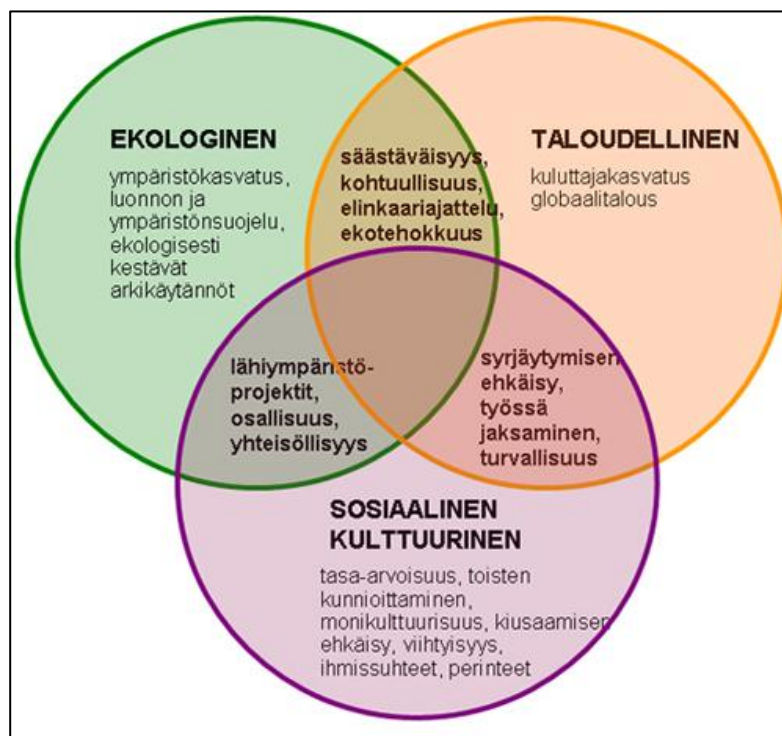
Opinnäytetyön tietoperustana on kestävä kehitys. Kestävä kehitys ajatusmalli pyrkii säästämään maapalloa myös tuleville sukupolville. Teollinen ekologia

puolestaan tukee kestävää kehitystä tutkimalla teollisuuden materiaalivirtoja osana ympäristöä.. Teollisen ekologian tuotelähtöisessä lähestymistavan tukena käytetään elinkaarianalyysiä. Elinkaarianalyysin tuotoksena ovat tuotteen aiheuttamat ympäristövaikutukset.

## 2.1 Kestävä kehitys

YK:n Brundtlandin komission raportti *Our future* (julkaistu 1987) käsitteli ensimmäisen kerran kestävä kehitys käsitettä.

Kestävä kehitys on maailmanlaajuisesti, alueellisesti ja paikallisesti tapahtuvaa jatkuvaa ja ohjattua yhteiskunnallista muutosta, jonka päämääränä on turvata nykyisille ja tuleville sukupolville hyvät elämisen mahdollisuudet. Tämä tarkoittaa myös, että ympäristö, ihminen ja talous otetaan tasavertaisesti huomioon päätöksenteossa ja toiminnassa. (Mitä on kestävä kehitys 2013.)



Kuvio 2. Kestäväkehitys. (Kuva: Suomen Ympäristökeskus SYKLI.)

Yhdistyneet kansakunnat eli YK on myös mukana kestävän kehityksen suunnan näyttäjänä. Vuonna 2012 kesäkuussa Rio de Janeirossa pidettiin YK:n kestävän

kehityksen konfrenssi johon osallistuivat valtioiden päämiehet. He hyväksyivät konfrenssin loppuasiakirjan: The future we want. Asiakirjassa määritellään kestävän kehityksen tulevaisuuden suuntaviivoja. (YK:n kestävän kehityksen työ 2011).

Päästäkseen kansainvälisesti sovittuihin kestävän kehityksen tavoitteisiin, on laadittu erilaisia ohjelmia niin Euroopassa, kuin kansainväliselläkin tasolla. 2013 on Euroopan komissio antanut tiedonannon: Ihmisarvoinen elämä kaikille, jossa on määritelty mm. kestävän kehityksen ohjelmia. Ohjelmia on olemassa vesihuoltoon, energiaan ja ilmastoon, biologiseen monimuotoisuuteen, jätteisiin, puhtaaseen tuotantoon, kestävään kulutukseen jne. (Ihmisarvoinen elämä kaikille 2013.)

### **2.1.1 Ekologinen kestävä kehitys**

Ekologisessa kestävässä kehityksessä pyrkimyksenä on luonnon monimuotoisuuden säilyttäminen. Tämä tarkoittaa niin kasvillisuuden kuin eläimistön lajikirjon säilyttämistä. Luonnonvaroja pyritään käyttämään varovaisuusperiaatteen mukaisesti, riskejä ennakoimalla ja huomioiden luonnon kestäkyky. (Mitä on kestävä kehitys 2013.)

### **2.1.2 Taloudellinen kestävä kehitys**

Taloudellinen kestävä kehitys pyrkii taloudelliseen kasvuun huomioiden luonnonvarojen saatavuuden myös tulevaisuudessa. Taloudellinen kasvu tulisi pitkällä tähtäimellä saavuttaa velkaantumatta. Taloudellinen kestävyys on kiinteästi sidoksissa sosiaaliseen ja kulttuuriseen kestävyyteen. (Mitä on kestävä kehitys 2013.)

### **2.1.3 Sosiaalinen ja kulttuurinen kestävä kehitys**

Maapallon väestön kasvu, ruoan riittävyys ja terveydenhuolto tuovat suuria haasteita tulevaisuudessa. Myös tasa-arvo sukupuolten välillä, sekä kansalaisten koulutus mahdollisuudet ovat otettu huomioon määriteltäessä

sosiaalista ja kulttuurista kestävää kehitystä. Keskeisenä tavoitteena, on hyvinvoinnin edellytysten siirtyminen sukupolvien välillä. (Mitä on kestävä kehitys 2013.)

Ihmisten hyvinvointiin vaikuttaa olennaisena osana ympäristö. Mikäli jätteitä hyväksikäytetään raaka-aineina ja energiana ne eivät päädy kaatopaikoille tai saastuta muutoin luontoa. Tämä vaikuttaa ympäristön saastumisen vähenemiseen ja täten ylläpitää luonnon monimuotoisuutta. Luonnon monimuotoisuus puolestaan ylläpitää ihmisen hyvinvointia.

## **2.2 Teollinen ekologia**

Teollisessa ekologiassa on kaksi lähestymistapaa: maantieteellinen lähestymistapa ja tuotelähtöinen lähestymistapa. Maantieteellisessä lähestymistavassa tarkastellaan systeemiä alueellisesti usean teollisuusyrityksen ketjuna. Puolestaan tuotelähtöisessä lähestymistavassa tarkastellaan tuotteen aiheuttamia ympäristövaikutuksia elinkaarianalyysin kautta. (Korhonen 2002, 39.)

Teollinen ekologia tutkii fyysisiä energia ja materiaalivirtoja. Tuloksia käytetään hyödyksi kestävässä kehityksessä ja myös ympäristönsuojelussa. (Suomen teollisen ekologian seura 2008.) Teollisen ekologian pyrkimyksenä on saavuttaa mahdollisimman suljettu kierto. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi syntyviä jätteitä pyritään käyttämään seuraavan työvaiheen raaka-aineena. Pyrkimyksenä on saavuttaa yhtä täydellinen kierrätysjärjestelmä kuin luonnossa on (Korhonen, Seppälä & Pihlatie 2008, 54).

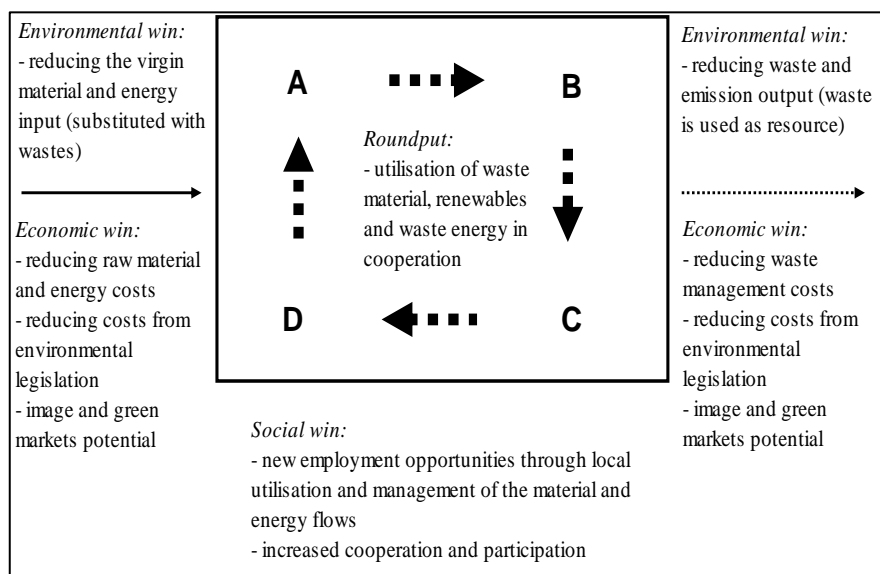
Teollinen ekologia on mm. talouden ja teollisuuden kestävää kehitystä ja ylläpitoa. Teollisessa ekologiassa teollista systeemiä ei eriytetä, vaan sitä tarkastellaan ympäristön kanssa kokonaisuutena. Pyrkimyksenä on optimoida materiaalin kierto neitseellisistä raaka-aineista tuotteeksi ja tuotteen loppuhävitykseen saakka. (Graedel & Allenby 2010, 32.)

Jäte, käsitteenä, ymmärretään hyödyttömänä ja arvottomana. Yksi teollisen ekologian tärkeimpiä ideoita on, että jäte käsite hylätään. Luonnon systeemissä mitään ei haaskata, vaan kaikki kierrätetään tehokkaasti. (Graedel & Allenby 2010, 33.)

Tarkasteltavana ovat teollisuuden sisäiset virrat mutta myös teollisuuden ja ympäristön väliset virrat. Tutkittavina ovat raaka-aineet, polttoaineet, energiankäyttö, jätteet ja mitä päästöjä toiminnasta syntyy (Suomen teollisen ekologian seura 2008.)

### 2.2.1 Maantieteellinen teollinen ekologia

Seuraavassa kaaviossa nähdään, kuinka teollinen ekosysteemi voi parhaimmillaan toimia paikallisesti/alueellisesti. Kaaviossa esiintyvät kirjaimet A, B, C ja D ovat yrityksiä. Systeemissä kiertävä nuoli on paksumpi kuin systeemiin tuleva ja systeemistä lähtevä nuoli. Tämä tarkoittaa sitä, että jätteitä pyritään käyttämään enemmän hyödyksi (materiaalina ja energiana) kuin neitseellisistä alkuperää olevia raaka-aineita ja energiaa. Täten jätteen hyödyntämättömyys ja päästöt ovat varsin pieniä.



Kuvio 3. Teollinen ekologia (Kuva: Jouni Korhonen)

Kierrättäminen hyödyntää ympäristöä, taloutta ja yhteiskuntaa. Ympäristö hyöttyy, koska neitseellistä raaka-ainetta kulutetaan vähemmän. Täten myös energiaa kuluu vähemmän. Jäte hyödynnetään, joten jätteeksi menevän materiaalin määrä vähenee. Jättemäärän vähenemisestä on myös taloudellisia hyötyä.

Taloudelliset hyödyt ovat jätekustannusten pieneneminen, kuljetuskustannusten väheneminen, lainsäädännöllisten velvoitteiden (esim. päästömittausten) väheneminen jne. Taloudellisia hyötyjä ovat myös neitseellisen raaka-aineen kulutuksen väheneminen. Mahdollisuuksina tulevat yrityksen imagon paraneminen, ns. vihreät markkinat ja uudet työpaikat. Mikäli uudet materiaali- ja energiavirrat mahdollistavat uusien työpaikkojen syntymisen, on se yhteiskunnallinen etu. Yhteiskunnallisia etuja ovat myös lisääntynyt yhteistyö ja osallistuminen. (Korhonen 2004b; Korhonen 2005.)

### **2.2.2 Tuotelähtöinen teollinen ekologia**

Tuotelähtöisessä tarkastelussa otetaan huomioon tuotteen ympäristövaikutukset koko sen elinkaaren ajalta. Tuotteen valmistuspaikka voi olla maantieteellisesti hyvinkin kaukana varsinaisesta kuluttajasta ja jätteen loppusijoituksesta tai uudelleen käyttö laitoksesta. Näitä välimatkoja ei ole otettu aiemmin huomioon ympäristövaikutuksia arvioitaessa. Tuotelähtöisessä teollisessa ekologiassa on kiinnitetty huomiota myös palveluiden, kuluttajien ja kotitalouksien rooliin, energian käyttäjinä ja päästölähteinä. Kun tutkimuksessa EU-maiden primäärienergian kulutusta on kohdennettu loppukuluttajiin, niin loppukuluttajista vain 38 % on teollisuutta. Loput eli 62 % ovat asuntojen vaatima energia, kuljetukset ja palvelut. (Korhonen 2002, 42 - 43.)

On havahduttu siihen, että jo tuotteiden suunnittelussa tulisi kiinnittää huomiota tuotteen ympäristövaikutuksiin koko sen elinkaaren aikana. Tuotteen elinkaaren tutkimiseen on kehitelty elinkaarianalyysiohjelmia. Elinkaariohjelmassa otetaan huomioon käytetyt raaka-aineet, tuotteen prosessien tarvitsema energia ja luonnonvarat, jätteet, päästöt ja kuljetusmatkat.

### **2.2.3 Kestävää tuotesuunnittelua, ecodesign**

Euroopan Unioni on säätänyt energiaan liittyvien tuotteiden suunnittelua koskevan direktiivin (2009/125/EY). Direktiivi on implementoitu Suomen lainsäädäntöön ekosuunnittelulailla (1005/2008). Lainsäädännön tavoitteena on ollut vaatimusten asettaminen energiaan liittyvien tuotteiden suunnittelulle. Tuote on suunniteltava ekologisesti, joten suunnittelussa tulee ottaa huomioon ympäristönäkökohdat koko tuotteen elinkaaren aikana. (Tuotteiden ekologinen suunnittelu TEM 2013.)

Ekologinen suunnittelu tarkoittaa tuotteen suunnittelua siten, että tuotteen ympäristövaikutukset ovat mahdollisimman vähäiset (Tuotteiden ekologinen suunnittelu eli ekodesign TUKES 2013). Suomessa ekologisen suunnittelun säädösten noudattamista valvoo Turvallisuus- ja kemikaali virasto (TUKES). Tukes ylläpitää ekosuunnittelu sivustoa.

### **2.2.3 Resurssitehokas Eurooppa**

Euroopan komissio on julkaissut vuonna 2011 tiedonannon: Etenemissuunnitelma kohti resurssitehokasta Eurooppaa. Suunnitelman visiona on Euroopan talouden kasvu ja sen toiminta mahdollisimman resurssitehokkaasti. Pyrkimyksenä on myös kaikkien resurssien ja luonnonvarojen kestävä hoitaminen. (Euroopan Komissio 2011, 3.)

Tiedonannon mukaan 1900-luvulla fossiilisten polttoaineiden käyttö on lisääntynyt 12-kertaisesti. Samalla ajanjaksolla raaka-aineiden käyttö on 34-kertaistunut. Euroopan Unionissa käytetään 16 tonnia materiaaleja henkeä kohden vuodessa. Käytetyistä materiaaleista jätettä syntyy 6 tonnia josta kolme tonnia päätyy kaatopaikalle. On havahduttu siihen että kyseiset ajat ovat ohi ja on olemassa kustannuspaineita raaka-aineiden ja mineraalien hinnan nousulle. Mikäli jatkaisimme resurssien käyttöä nykyisellä tavalla, tarvitsisimme käyttöömmme kaksi maapalloa vuoteen 2050 mennessä. (Euroopan komissio 2011, 2.)



Kokonaisuudessaan Euroopan unionin alueella jätettä syntyy vuositasolla 2,7 miljardia tonnia, josta haitallisia jätteitä on 98 miljoonaa tonnia. On arvioitu, että vain 40 % jätteistä kierrätetään tai käytetään uudelleen. (Euroopan komissio 2009, 8.) Vuodesta 2012 alkaen jäsenvaltiot ja komissio arvioivat toimia, joilla parannetaan pakkausten resurssitehokkuutta. Samassa raportissa kehoitetaan jäsenvaltioita auttamaan yritysten yhteistyötä, jätteidensä ja sivutuotteiden hyödyntämisessä. (Euroopan komissio 2011, 7.)

## **2.3 Lainsäädäntö ja politiikka**

Lainsäätäjät niin kansainvälisesti kuin kansallisesti ovat sisällyttäneet kestävän kehityksen lainsäädäntöönsä. Euroopan unioni on säätänyt vuonna 2008 jätedirektiivin (2008/98/EU) jossa pyritään yksinkertaistamaan nykyistä jätesääntelyä ja tehostamaan jätemäärien vähentämistä. Pyrkimyksenä ovat myös uudelleen käytön ja kierrätyksen tehostaminen. (Euroopan Unionille uusi jätedirektiivi 2008). Jätteen hyötykäytön tehostaminen on yhtenä osa-alueena direktiivissä. Suomi on implementoinut EU:n jätedirektiivin omaan kansalliseen lainsäädäntöönsä jätelailla 646/2011.

Suomen ympäristöpolitiikkaa ohjaa kansallinen ja kansainvälinen lainsäädäntö ja sopimukset. Näistä esimerkkinä ovat kestävän kehityksen, luonnon monimuotoisuuden, ilmastonmuutoksen, jätehuollon ja materiaalitehokkuuden lisääminen ympäristöpolitiikkaan. Suomen ympäristöpolitiikan painopisteisiin kuuluu ilmastonmuutokseen puuttuminen, Itämeren veden laadun parantamiseen tähtäävän yhteistyön lisääminen, metsien monimuotoisuuden turvaaminen sekä jätehuollon ja materiaalitehokkuuden parantaminen. (Suomen ympäristöpolitiikan tuloksellisuutta arvioiva raportti 2009, 2.)

### **2.3.1 Euroopan Unionin jätedirektiivi**

EU:n jätedirektiiviin on sisällytetty viisiportainen jätehierarkia. Jätehierarkiassa on määritelty järjestys, kuinka jätettä tulisi käsitellä. Ensisijaisesti jätteen syntymistä tulisi ehkäistä. Seuraavina jätteen käsittelymuotoina on jätteen valmistelu uudelleenkäyttöön, jätteen kierrättäminen ja mikäli jätteen

hyötykäyttö ja kierrätys eivät ole mahdollisia, pyritään jätettä hyödyntämään energiana.

Viimeisenä vaihtoehtona on kaatopaikkasijoitus. Pyrkimyksenä onkin jätteen mahdollisimman vähäinen kaatopaikkasijoittaminen. (Jätealan lainsäädännön uudistus pähkinäkuoressa 2013.)

Jätedirektiivi velvoittaa jäsenmaitaan edistämään jätteen kierrättämistä niin, että paperi-, lasi-, metalli ja muovijätteistä tulisi kierrättää 70 % vuoteen 2020 mennessä. Jätedirektiivi säätelee myös jätteen statuksesta, milloin jätteestä tulee sivutuote ja milloin se lakkaa olemasta jäte. (Jätelainsäädännön kokonaisuudistus 2013.)

### **2.3.2 Euroopan unionin direktiivi pakkauksista ja pakkausjätteistä**

Direktiivi (94/62) säätelee, että pakkaukset on valmistettava siten että niiden koko ja paino rajoitetaan mahdollisimman pieneksi. Kuitenkaan turvallisuudesta ja hygieniasta ei saa tinkiä. Pakkaus on myös suunniteltava siten että sen valmistaminen, kauppaaminen ja uudelleenkäyttö tai hyödyntäminen on mahdollista ja ympäristövaikutukset tulisi minimoida mahdollisimman pieneksi. Pakkauksessa ei tulisi olla vaarallisia ainesosia tai jos niitä on, niiden määrä tulisi olla mahdollisimman vähäinen koko tuotteen elinkaaren ajan. (94/62/EY, 10.)

Direktiivissä on myös vaateet uudelleenkäytettävyydelle ja hyödynnettävyydelle. Pakkauksen tulee kestää useita kuljetus- tai käyttökertoja. Pakkauksen käsiteltävyys ja hyödynnettävyys sen jätteeksi tullessa tulee olla vaatimusten mukainen. Pakkaus tulee valmistaa siten, että siitä voidaan hyödyntää vaadittu prosenttiosuus. (64/62/EY.) Muoveilla vaadittu prosenttiosuus on 22,5 % (2004/12/EY 3). Pakkausjätteillä joita hyödynnetään energiantuotannossa, tulee olla vähimmäislämpöarvo. Kompostoinnille ja biologisesti hajoaville pakkauksille on asetettu omat vaateensa. (94/62/EY, 10.)

### **2.3.3 Suomen jätelaki**

Suomen jätelaki (646/2011) on astunut voimaan 1.5.2012. Jätelailla ja muilla siihen liittyvillä säädöksillä on saatettu voimaan EU:n jätedirektiivin vaatimukset kansalliseen lainsäädäntöön. Jätelainsäädännön tavoitteeksi on asetettu neljä kohtaa.

Pyritään ehkäisemään jätteistä aiheutuvaa haitallisuutta ja vaarallisuutta terveydelle sekä ympäristölle. Näihin pyritään toimivalla jätehuollolla, jätteiden määrän vähentämisellä sekä niiden haitallisuuden vähentämisellä. (Jätelainsäädäntö edistää luonnonvarojen järkevää käyttöä ja ehkäisee jätteistä aiheutuvia haittoja 2013.) Jätelain tavoitteena on mm. luonnonvarojen kestävä käytön edistäminen.

### **2.3.4 Suomen ympäristösuojelulaki**

Ympäristönsuojelulain (YSL 86/2000) tavoitteina ovat mm. kestävä kehityksen tukeminen, jätteiden synnyn ehkäiseminen, luonnonvarojen kestävä käyttö ja ilmastomuutoksen torjuminen. Ympäristönsuojelulaissa on säädetty ympäristöä pilaavan toiminnan luvanvaraisuudesta. Ympäristölupa on lupa pilata ympäristöä.

## **2.4 Muovit**

### **2.4.1 Muovien lajittelu**

Muoveja voidaan jaotella hyvin monin perustein. On olemassa neljä erilaista tapaa muovien jaotteluun. Lajittelun perusteina on käytetty muovien käyttömäärää, muovien muovattavuutta, muovien alkuperää ja muovikemiallista perustetta. (Kurri, Malen, Sandell & Virtanen 1999, 17.) Opinnäytetyössä esitellään kolme jaottelutapaa.

### **2.4.2 Muovien lajittelu käyttömäärän mukaan**

Raaka-aineiden valmistajat jaottelevat muovit käytön mukaan valtamuoveihin, teknisiin muoveihin ja erikoismuoveihin. Valtamuovit ovat yleisimmin käytettyjä muoveja ja niitä ovat mm. polyeteeni, polypropeeni, polyesteri ja polystyreeni. Teknisiä muoveja ovat mm. polyamidit (nailon) ja polytetrafluorieteeni (teflon). (Kurri ym, 1999, 17.) Erikoismuoveihin kuuluvat mm. nestekidemuovit (LCP) ja polyeetteriketoneit (PEK, PAEK, PEEK) (Järvinen 2000, 63).

### **2.4.3 Muovien rakenteen ja muovattavuuden mukainen lajittelu**

Muovit voidaan lajitella niiden rakenteen ja muovattavuuden perusteella kertaja kestopuoveihin (Kurri ym 1999, 17). ”Kertamuovi on polymeeri jonka polymerointi valmiiksi tuotteeksi on kemiallinen reaktio” (Järvinen 2000, 67). Kertamuovit ovat nimensä mukaisesti kertakäyttöisiä, eikä niitä voidaan uudelleen sulatuksen jälkeen käyttää uudelleen. Kertamuoveja käytetään paljon maaleissa ja liimoissa. Kertamuoveja ovat mm. polyuretaani (PUR) ja epoksi (EP) (Järvinen 2000, 67). Kestomuoveja voidaan sulatuksen jälkeen muotoilla uudelleen, esimerkiksi uudelleen granuloida ja sen jälkeen uusiokäyttää. Kestomuoveja ovat mm. polyeteeni (PE) ja polypropeeni (PP).

### **2.4.4 Muovin alkuperän mukainen lajittelu**

Luonnon muovi on muunneltu luonnon polymeeri. Luonnonmuovien lähtöaineet voidaan jaotella synteettisiin, puolisynteettisiin ja luonnon polymeereihin. Polysakkaridit eli tärkkelys, ligniini, proteiini ja selluloosa ovat luonnon polymeerejä. Puolestaan mm. selluloosa-asetatti (CA) on puolisynteettinen polymeeri, ja se on valmistettu luonnon polymeereistä kemiallisen käsittelyn avulla. Synteettisten polymeerien lähtöaineina ovat kemian teollisuuden tuottamat monomeerit. Synteettisiä polymeerejä on mm. polyeteeni ja polypropeeni. (Järvi-Kääriäinen, ym. 2007, 86.)

### 2.4.5 Polymeeri

Polymeerit ovat yhteen liittyneitä, pienemmistä rakenneyksiköistä eli monomeereistä koostuvia, suuria molekyyliä, makromolekyyliä. Polymeerien ominaisuuksiin vaikuttavat niiden molekyyli rakenne, suhteellinen molekyyli massa, kiteisyysaste ja kemiallinen koostumus. Kemian teollisuuden tuottamat pienimolekyylliset monomeerit ovat lähtöaineina synteettisille polymeereille, joita ovat mm. polyeteeni ja polypropeeni. (Järvi-Kääriäinen ym. 2007, 86.)

Homopolymeeri sisältää vain yhtä monomeeriä. Kopolymeeri puolestaan sisältää useampaa monomeeriä (Kurri ym. 1999, 36).

### 2.4.6 Polyeteeni

Polyeteeni  $(CH_2-CH_2)_n$  on polymeeri, joka on muodostunut pienemmistä rakenneyksiköistä eli monomeereistä. Polyeteenin polymeeriketjujen välillä ei ole kemiallisia sidoksia, joten niitä voidaan lämmittää ja muovata uudestaan. Tällaista muovia jota voidaan uudelleen sulattaa ja muotoilla, kutsutaan kestopuoviksi. Kestomuovin polymeeriketjut ovat pitkiä. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 86.) ”Olefiineiksi kutsutaan lineaarisia tai haaroittuneita hiilivetyjä, joissa on ainakin yksi kaksoissidos.” (Tammela 1989,17.) Pienitiheys polyeteeniä eli PE-LD:tä käytetään eniten. PE-LD laatua käytetään eniten kalvomateriaaleihin. Esimerkiksi kaupan muovikassi on PE-LD:tä. (Järvinen P 2000, 21.)

### 2.4.7 Lieksassa mekaanisesti kierrätettävät polyeteenikalvot

Mekaanisesti kierrätettäväksi valittiin kalvolaatuja joita määrällisesti ajetaan paljon ja joiden laadullisiin ominaisuuksiin ei mekaanisesti kierrätettävän materiaalin käyttö vaikuta. Näitä polyeteeni kalvolaatuja on viisi (CLL, CLP2, CLP4 ja CLP5 ja 22206.2). Kyseisiä laatuja valmistetaan useampaa eri paksuutta.

CLP-kalvoa käytetään mm. montaa eri materiaalia sisältävässä kahvipakkauksessa. CLP-kalvo on kahvipakkauksen sisäkerroksena. Pakkaukset muodostetaan elintarvikepakkaajien pakkauskoneilla

kuumasaumaamalla pakkauksen sivut ja päädyt. Pakkauskoneen kuumasaumauksen lämpötila valikoituu mm. saumattavan kalvomateriaalin sulamislämpötilan mukaan.

Polyeteenikalvolaadun (CLP) kuumasauma on käsin avattava. Avautuvuus ominaisuutta mitataan Lieksan tehtaan laadunvalvontalaboratoriossa vetokoestuslaitteella. Polyeteenikalvon saumauskerrokseen on valmistusprosessin aikana lisätty ainetta, jolla saadaan heikennettyä kuumasaumalujuutta. Kalvolaatujen paksuudet vaihtelevat 85 - 110  $\mu\text{m}$ :n välillä.

Kun vertaa CLL-laatua ja käsin avattavaa polyeteenilaatua (CLP) niiden erona on kuumasaumalujuus. Kuumasaumattuja pakkauksia, joissa saumaavana kalvona on polyeteeni, ei saa avattua käsin, vaan niiden avaamiseen tarvitaan esim. saksia. Kun saumaavana kalvona on CLP-laatu, kalvon kuumasauma voidaan avata käsin ilman apuvälineitä.

Polyeteenikalvolaatuja CLL ja 22206.02 käytetään ns. laminointikalvoina. Laminointikalvo yhdistetään toiseen materiaaliin laminointiliiman avulla. Näin muodostuu laminaatti, jossa on kahta (tai kolmea) erilaista muovimateriaalia. Tällöin päällimmäisenä kalvona voi olla materiaali, joka painetaan ja sen kuumuuden sietokyky on hyvä. Laminaatin sisäkerroksena puolestaan käytetään polyeteenikalvoa, jonka tehtävänä on saumautua. Lieksassa valmistettujen laminoitavien CLL-kalvojen paksuudet ovat 30–100  $\mu\text{m}$ .

Näistä yllämainituista kalvolaaduista valmistetaan kahta mekaanisesti kierrätettävää laatua: RLP ja RLL. RLP-laatuun kierrätetään kaikkia kolmea CLP laatua. CLP-laadut sisältävät pääosin samoja raaka-aineita, vain niiden määrät poikkeavat toisistaan. RLL-laatuun kierrätetään CLL-kalvoja ja 22206.02-kalvoja.

#### **2.4.8 Muovi pakkausteollisuudessa**

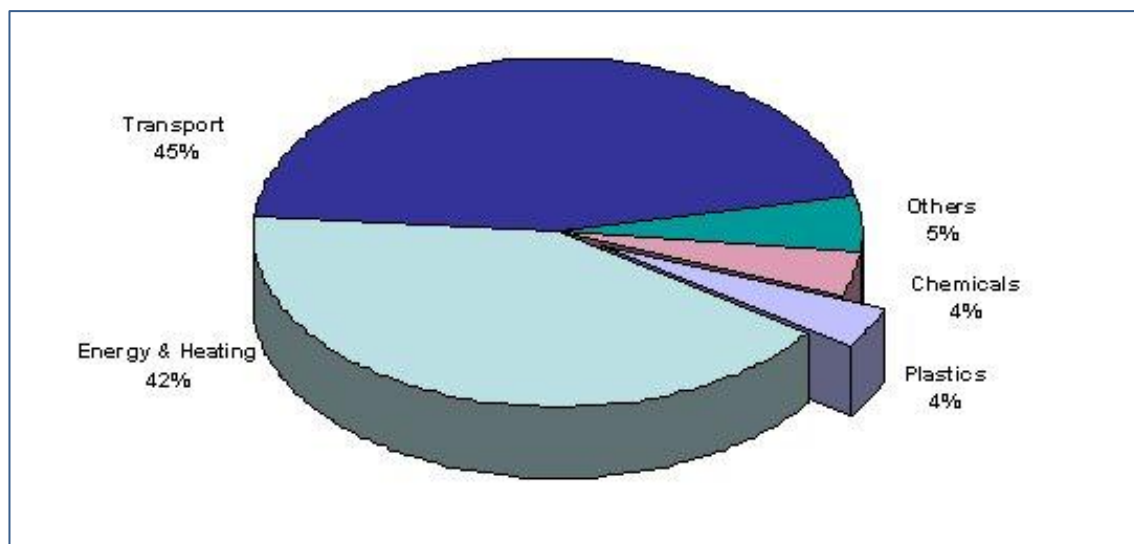
Pakkausteollisuuden osuus Euroopan muovimarkkinoista on 39 %. (Plastic packaging: Born to protect 2012, 5). Vuonna 2010 pakkausmuovien kierrätysprosentti Euroopassa oli noin 33 %, eli 6 miljoonaa tonnia. Täten pakkausmuovien tarvitsema energian kulutus niiden elinkaaren aikana väheni 24 % ja kasvihuonekaasupäästöt vähenivät 27 %. (Plastic packaging: Born to protect 2012, 15.)

Muovin käyttömahdollisuudet ovat mitä moninaisimmat. Yhdistelemällä erilaisia muoveja ja muita materiaaleja, esimerkiksi paperia ja/tai alumiinia keskenään, saadaan pakkauksiin lisää haluttuja ominaisuuksia. EU:n asetus 10/2011 elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvista muovisista materiaaleista, määrittelee mm. mitä monomeerejä ja muita lähtöaineita saa elintarvikemuoveihin käyttää.

Pakattavan tuotteen ominaisuudet määräävät pakkausmateriaalilta vaadittavia ominaisuuksia. Tarvitaanko pakattavalle tuotteelle valonsuojaa, kaasutiiveyttä, rasvankestoa, hapenläpäisevyyttä jne. Myös pakkaajan käyttämä pakkauskone asettaa omat vaateensa pakkausmateriaalille.

#### **2.4.9 Öljyn käyttö muoveissa**

Öljyn kokonaiskäytöstä, muoveihin päättyy vain 4 %. Lisäksi muovien valmistukseen tarvittavaa energiaan kuluu 3-4 % öljyn kokonaiskäytöstä. (Hopewell, Dvorak & Kosior, 2009)



Kuvio 4. Öljyn käyttökohteet (Kuvio: British Plastic Federation)

Polyeteeniä valmistetaan eteenikaasusta. Eteenikaasua tuotetaan maailmanlaajuisesti paljon, ja se on petrokemianteollisuuden päätuotteita (DOW, 2 of 7. 2007.) Eteenikaasua tuotetaan kaupallisesti kahdella eri menetelmällä, krakkaamalla parafiini hiilivetyjä tai erottamalla se jalostamokaasuista (American Chemistry Council 7, 2004).

## 2.5 Ekstruusiopuhallus

Ekstruusiopuhallus on yleisimmin käytetty muovikalvonvalmistus menetelmä. Se on yleisimmin käytetty sen yksinkertaisuuden, monipuolisuuden ja edullisuutensa vuoksi. Koekstruusiopuhallus mahdollistaa monikerroksisen polyeteenikalvon valmistamisen. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 102, 108.) Kalvon kerroksia voi olla kolmesta seitsemään. AF Lieksan tehtaassa koekstruusio puhalluskalvoprosessissa kerroksia on 5.

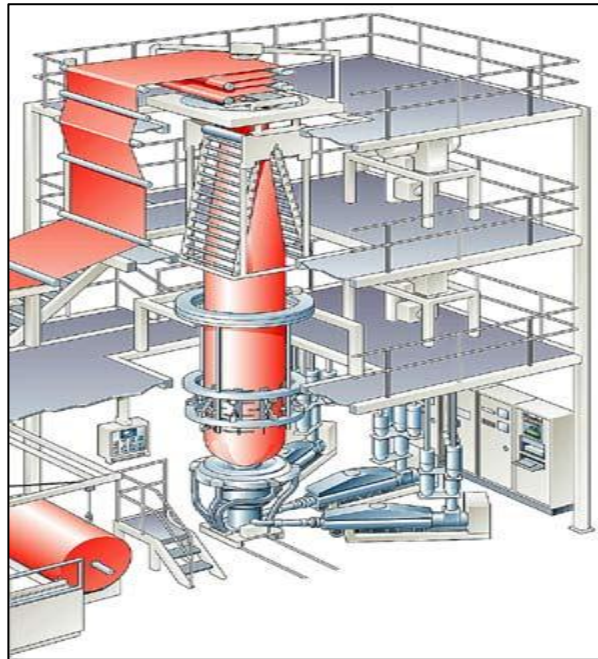
Prosessin raaka-aine on raemaisessa muodossa olevaa muovia. Eri kerroksiin voidaan ajaa erilaisia muoveja. Se mitä muovigranulaatteja kalvoon käytetään, riippuu siitä, mitä käyttöominaisuuksia muovikalvoon halutaan.

Muoviraaka-aine syötetään suppilon kautta ekstruuderiin eli suulakepuristimeen, jossa se ruuvin ja ulkopuolisen lämmityksen avulla puristetaan ja sulatetaan. Ruuvi sekoittaa ja kuljettaa muovisulaa eteenpäin suuttimeen. Suuttimessa on rengasmaisen rako. Sulaa muoviletkua jäähdytetään ilmalla ja jäähtynyt letku puristetaan kiinni ylhäällä olevien vetotelojen avulla. Lisäämällä ilmaa kalvokuplaan



säädetään kalvo haluttuun leveyteen. Vetotelojen jälkeen kalvo menee kelauslaitteeseen. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 102 - 103.)

Ennen kelausta kartonkihylsille, muoviletku halkaistaan. Kelauslaitteessa muovikalvo kelataan rullamuotoon.



Kuva 1. Koekstruusio puhallusprosessi, kolmella ekstruuderilla (Kuva: Plastipedia)



Kuva 2. AF Lieksan koekstruusio puhalluskalvoprosessi

## 2.6 Uudelleengranulointi prosessi

Uudelleengranulointi prosessi koostuu useasta eri yksiköstä: laitteen ohjaus- ja valvontaelimistä, materiaalisyötöstä, menetelmäyhdistelmästä eli silppurista ja ekstruuderista, jälkikäsittelylaitteesta ja säkitysasemasta. Nämä yksiköt yhdessä muuttavat polyeteenikalvomateriaalin uudelleen raemaiseen muotoon.



Kuva 3. Erema, uudelleengranulointikone (Kuva: Plastics Recycles)

### 2.6.1 Materiaalin syöttö

Materiaalin syöttö tapahtuu eri lähetyslaitteiden avulla. Materiaalia voidaan syöttää koneelle kuljetusnauhan tai rullasyötön kautta. Kuljetusnauha on vyökuljetin, ja se toimii käyttötelan kuljettamana. Kuljetusnauhassa on myös metallinpaljastin. Rullasyöttöä käytetään rullalle kelatun kalvomateriaalin purkamiseen. "Rullaveto tapahtuu jatkuvatoimisesti kahdella vastakkaisella sisäänvetotelalla, käyttö- ja puristustelalla." (Erema, dokumentointi (käyttöohje) 2011, 50.)





Kuva 4. Uudelleengranulointi prosessia varten kehitelty rullasyöttöalusta.  
(Kuva: Leena Hyttinen.)

### 2.6.2 Menetelmäyhdistelmä

Menetelmäyhdistelmä koostuu pääasiassa silppurista ja siihen asennetusta yksikierukkaudesta ekstruuderista. Yhdistelmää käytetään homogeenisen eli tasalaatuisen sulatteen valmistamiseen. (Erema, dokumentointi (käyttöohje) 2011, 51.)

”Syötetty materiaali kuljetetaan silppuriin lähetyslaitteen avulla.” Silppurissa yhden työvaiheen aikana materiaali pienennetään, sekoitetaan ja kuivataan lämmittämällä. Saman työvaiheen aikana tapahtuu myös esipuristus. Pyörivät leikkurit siirtävät voiman ekstruuderiiin, missä jatkuva syöttö tiivistää materiaalin. Ekstruuderissa materiaalista tulee homogeenistä ja plastista. (Erema, dokumentointi (käyttöohje) 2011, 51.)



Kuva 5. Menetelmäyhdistelmä. (Kuva: Leena Hyttinen.)

### 2.6.3 Granulointiyksikkö

Granulointiyksikkö on asennettu sulatesuodattimen yhteyteen. Sulate puristetaan granulointireikälevyn kautta, minkä jälkeen se leikataan granulaatiksi. Leikkaus tapahtuu pyörivällä veitsi-päällä, jonka kierrosnopeutta säätämällä voidaan vaikuttaa granulaatin pituuteen. (Erema, dokumentointi (käyttöohje) 2011, 57.)

Granulaattien jäähdytys tapahtuu granulointikotelossa olevalla vedellä, jonka mukana granulaatit kulkeutuvat letkua pitkin vedenpoistoritilälle. Vesi erottuu vedenpoistoritilällä tärytyksen ansiosta ja ritilä kuljettaa granulaatit puhalluskuivuriin. (Erema, dokumentointi (käyttöohje) 2011, 51.)



Kuva 6. Granuloinnin jäähdytys ja puhalluskuivaus. (Kuva: Leena Hyttinen.)

Puhalluskuivurista granulaatti siirretään kuljetusputkia pitkin sykloniin, josta granulaatti syötetään säilytysastiaan. Lieksan tehtaalla säilytysastioina käytetään tehtaan sisäisesti kierrätettyjä pahvisia oktabiineja. Oktabiinit ovat olleet kuljetus ja säilytyspakkauksina neitseellisille polyeteeniraaka-aineille. Granulaatti ei ole suorassa kontaktissa pahviin, vaan oktabiinissä on sisäsäkki. Lopputuloksena on uudelleen raemaiseen muotoon saatettu polyeteeni.



Kuva 7. Raemainen granulaatti. (Kuva: Leena Hyttinen.)

## 2.9 Ympäristövaikutukset

Ympäristövaikutuksia ovat ilmaston muutos, happamoituminen, rehevöityminen ja otsonikato. Myös ympäristön kemikalisoituminen on eräs ympäristövaikutus, mutta sitä ei käsitellä tässä opinnäytetyössä. Ilmastonmuutos ja otsoni kato ovat koko maapalloa koskevia ympäristövaikutuksia. Puolestaan happamoitumisen ja rehevöitymisen vaikutukset ovat enemmän paikallisia.

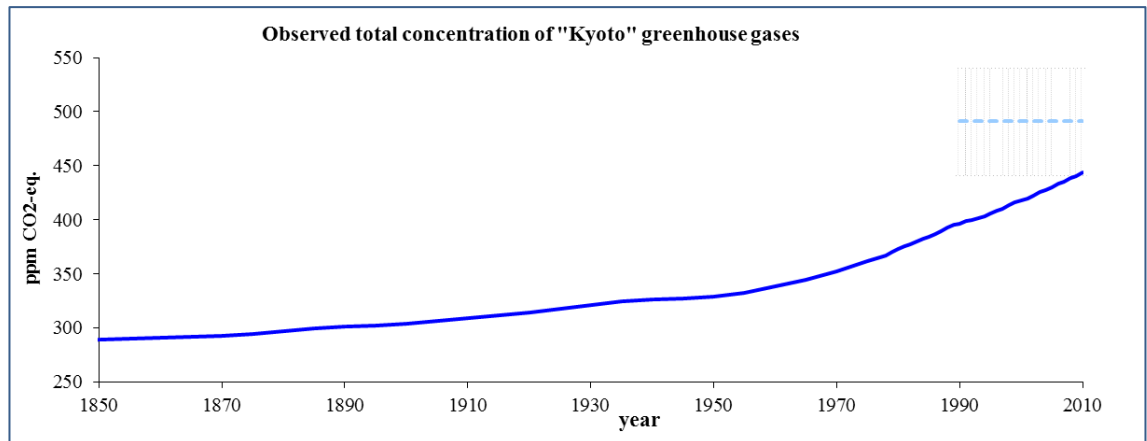
### 2.9.1 Kasvihuoneilmiö ja ilmaston muutos

Kasvihuoneilmiö on maapallolla elämän elinehto. Ilman kasvihuoneilmiötä, maapallon keskilämpötila olisi  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kasvihuoneilmiössä ilmasto lämpenee, koska maapallon pinnalta tuleva lämpö ei heijastu avaruuteen. Ilmastonmuutoksen aiheuttavat kasvihuonekaasut, joita ovat hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ), metaani ( $\text{CH}_4$ ), dityppioksidi ( $\text{N}_2\text{O}$ ) sekä kloorifluorihilivedyt eli CFC-yhdisteet. Nämä ovat tärkeimpiä ihmisen toiminnan seurauksena muodostuneita kasvihuonekaasuja. (Telkänranta 2006, 12 - 13.)

Ilmakehässä luonnostaan esiintyy vesihöyryä ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ja otsonia ( $\text{O}_3$ ) sekä kaikkia yllämainittuja yhdisteitä paitsi CFC-yhdisteitä. Vesihöyry on alailmakehässä voimakkain kasvihuonekaasu. Metaania muodostuu elollisen aineen hajoamisprosesseissa. Metaani on 25 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi. Kasvihuonekaasujen määrä ilmaistaan hiilidioksidi ekvivalenttitonneina. Hiilidioksidi ekvivalenttitonneina ilmaistuna 1 tonni metaania on 25 (t  $\text{CO}_2$ -ekv) kun taas 1 tonni hiilidioksidia on 1 (t  $\text{CO}_2$ -ekv).

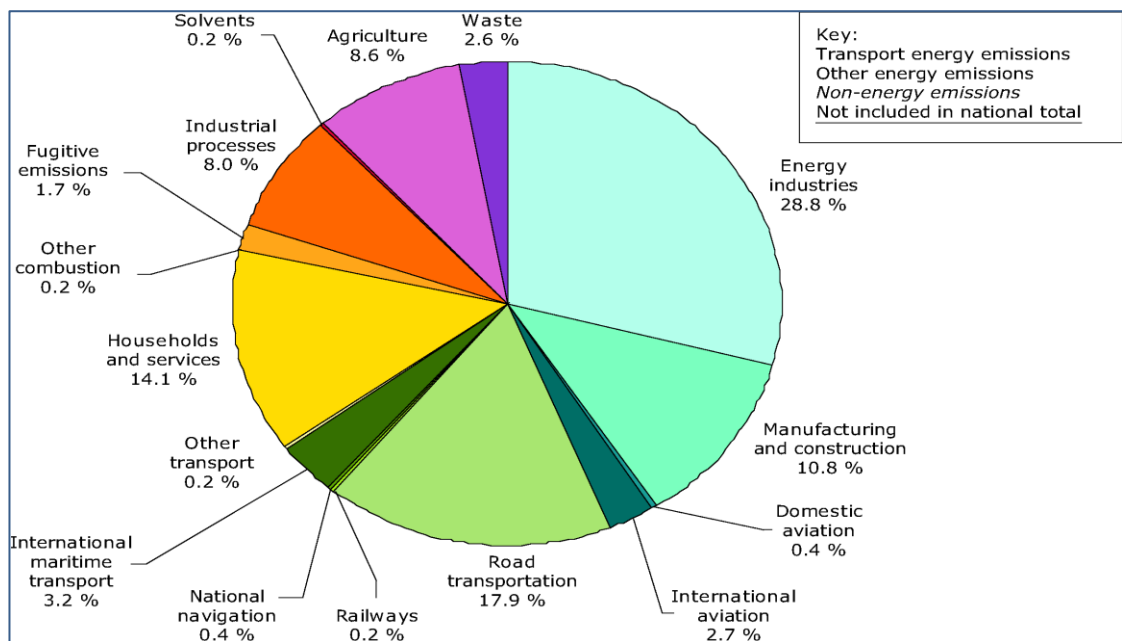
(Kasvihuonekaasut lämmittävät 2012.)

Kasvihuonekaasuilla molekyylin rakenne on sellainen, että ne kykenevät imemään lämpösäteilyä tietyillä aallonpituuksilla. Kasvihuonekaasumolekyyli pystyy muuttamaan saamansa energian uudelleen säteilyksi, jolloin osa säteilyn energiasta palaa takaisin maan pintaa lämmittämään ja osa karkaa avaruuteen. (Kasvihuonekaasut lämmittävät 2012)



Kuvio 5. Kasvihuonekaasujen pitoisuuden muutos ilmakehässä, ppm CO<sub>2</sub> - eq. (Kuvio: European Environment Agency)

Kuviossa 7 on nähtävillä ilmakehän kasvihuonekaasujen konsentraation kasvu. 1850 kasvihuonekaasujen pitoisuus on ollut alle 300 ppm. 1970 luvun jälkeen kasvihuonekaasujen määrä on lähtenyt dramaattiseen nousuun.



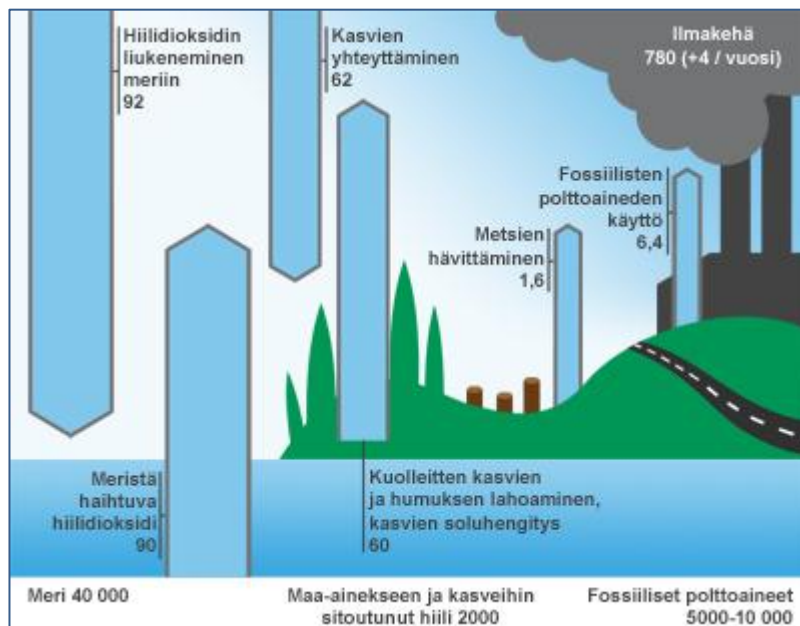
Kuvio 6. 2009-vuoden kasvihuonekaasu päästöt sektoreittain EU-27 (Kuvio: European Environment Agency)



Kuviossa 6 nähdään vuoden 2009 kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain. Energiateollisuus aiheuttaa suurimmat hiilidioksidipäästöt. Teollisuuden, väestön kasvun ja kulutuksen lisääntyessä viime vuosisadan aikana on öljyn käyttö lisääntynyt. Öljyyn varastoitunut hiili vapautuu hiilidioksidina öljyn käytön seurauksena.

Ilmakehän hiilidioksidi määrän kasvaessa maapallolla tapahtuu ilmaston lämpenemistä ja enemmän voimakkaampia sääilmiöitä. Ilmaston lämpeneminen vaikuttaa viljelyalan vähenemiseen jo ennestään kuivilla alueilla. Puolestaan napa-alueiden lähellä sadanta lisääntyy. Napa-alueiden läheisyydessä ja muilla jään peittämällä alueilla jäät sulavat, tämä puolestaan nostaa merenpintaa. Lisääntynyt sadanta voi lisätä ravinteiden kulkeutumista maaperästä vesistöihin. Ilmaston muutoksesta aiheutuukin varsin monenlaisia muutoksia maapallolle.

Suomen kasvihuonekaasupäästöt olivat 64,1 miljoonaa tonnia (CO<sub>2</sub> ekv) vuonna 2012. Päästöjen määrä on vähentynyt kahdeksalla prosentilla edelliseen vuoteen nähden. (Suomen kasvihuonekaasu päästöt 2012, 2013).



Kuvio 7. Hiilen kiertokulku. (Kuvio: Ilmasto-opas.)

Kuviossa 7 nähdään kuinka hiili kiertää maapallolla. Hiilen kiertokulkuun vaikuttavat hiiltä vapauttavat sekä sitovat prosessit. Hiiltä sitovia prosesseja ovat kasvien yhteyttäminen, puuston kasvu, hiilidioksidin liukeneminen meriin. Puolestaan hiiltä vapauttavia prosesseja ovat merien haihduttama hiilidioksidi, kasvien soluhengitys, metsien hävittäminen ja fossiilisten polttoaineiden käyttäminen (Hiilen kiertokulku Ilmasto-opas 2013).

### **2.9.3 Otsonikato**

Maapallon stratosfäärissä eli ylemmässä ilmakehässä sijaitsee otsonikerros. Yläilmakehän otsonikerroksen hyötynä on, että se hajottaa auringon UV-säteilyä. UV-säteily aiheuttaa ihosyöpää ja silmäsairauksia. Sillä on myös vaikutuksia niin maa- kuin vesiekosysteemeihin. (Otsonikato 2013.) Syynä otsonikerroksen vähenemiseen ovat ihmisten käyttämät tietyt kemikaalit; kloorifluorihilivedyt eli CFC-yhdisteet ja halonit. Molempien käyttöä on niin kansallisesti kuin kansainvälisestikin rajoitettu lainsäädännöllä. (Otsonikerroksen suojelu 2013.)

### **2.9.4 Happamoituminen**

Happamoituminen johtuu polttoaineiden savukaasujen (rikkidioksidi ja typenoksidi) heikosta puhdistamisesta. Tällöin rikkiä ja typpeä vapautuu ilmaan. Ilmasta rikki ja typpi tulevat happamana laskeumana alas. (Happamoituminen 2013.) Mikäli vesistö ei pysty neutraloimaan happosateita on se menettänyt puskurikykynsä. Tällöin veden PH laskee. (Vesistöjen happamoituminen 2013.)

### **2.9.4 Rehevöityminen**

Rehevöitymistä voi tapahtua niin maaperässä kuin vesistöissäkin. Rehevöityminen tarkoittaa kasviston liiallista kasvua ja sen aiheuttaa liiallinen ravinteiden saanti. Varsinkin vesistön rehevöitymisestä, esimerkkinä sinileväkasvustot, on viime vuosina puhuttu paljon. (Rehevöityminen 2013.) Ravinteita saadaan joko lannoitteista, ilmalaskeumana tai jätevesistä.

### 3 Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimustehtävä

Selvitys tehtiin Amcorin sisäiseen käyttöön. Tuloksia ei ole tarkoitus käyttää julkisesti esiteltävissä vertailuväitteissä. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää mekaanisesti kierrätetyn puhtaan polyeteenikalvo jätteen kierrätyksestä saadut kustannussäästöt sekä vähentyneet hiilidioksidipäästöt. Kustannussäästö laskelman pääasiallinen tarkoitus oli laskea taloudellinen hyöty.

Tarkasteltavana kohteena oli AF Lieksan tehtaan polyeteenilinjaston puhtaan PE-jätteen uudelleengranulointi. Laskelman avulla pystyttiin myös tarkistamaan, ovatko ennakoidut kustannukset ja säästöt toteutuneet. Tuloksia voidaan myös käyttää hyväksi määritettäessä uudelleen granuloidun materiaalin hinta-arviota varastokirjanpitoon.

Uudelleengranulointikone asennettiin Lieksan tehtaalle loppu vuodesta 2011. Vuosi 2012 onkin ollut uudelleengranulointikoneen ensimmäinen toiminnallinen vuosi, joten oli luonnollista, että kustannussäästöt laskettiin vuoden 2012 ajalta. Kokonainen kalenterivuosi antoi hyvää tilastollista tietoa niin tuotetuista kilomääristä, keskituotosta kuin käyttömääristäkin. Uudelleen granuloidut laadut kirjattiin kukin omalle artikkelinumerolle varastokirjanpitoon. Näin ollen kunkin uudelleen granuloidun laadun käyttötietoja niin kuukausi- kuin vuositasollakin oli helppo seurata.

CLP-laaduissa uudelleengranuloidulla materiaalilla korvataan osa LD39 raaka-aineesta. Neitseellisten raaka-aineiden hinta kerrottiin uudelleengranuloidun materiaalin käytetyillä määrillä. Näin saatiin lähtötilanne laskelmille. Saadusta summasta vähennettiin kulut, joita uudelleengranulointi prosessi aiheuttaa. Kuluja muodostui uudelleengranulointi koneen tarvitseman energian- ja veden käytöstä aiheutuneista kustannuksista. Kuluihin lisättiin myös summa, mikä olisi saatu, mikäli jäte olisi uudelleengranuloinnin sijaan myyty.

Säästölaskelmien lisäksi tarkoituksena oli myös selvittää, vähenevätkö Lieksassa tuotettavan polyeteenikalvon ympäristövaikutukset, kun osa

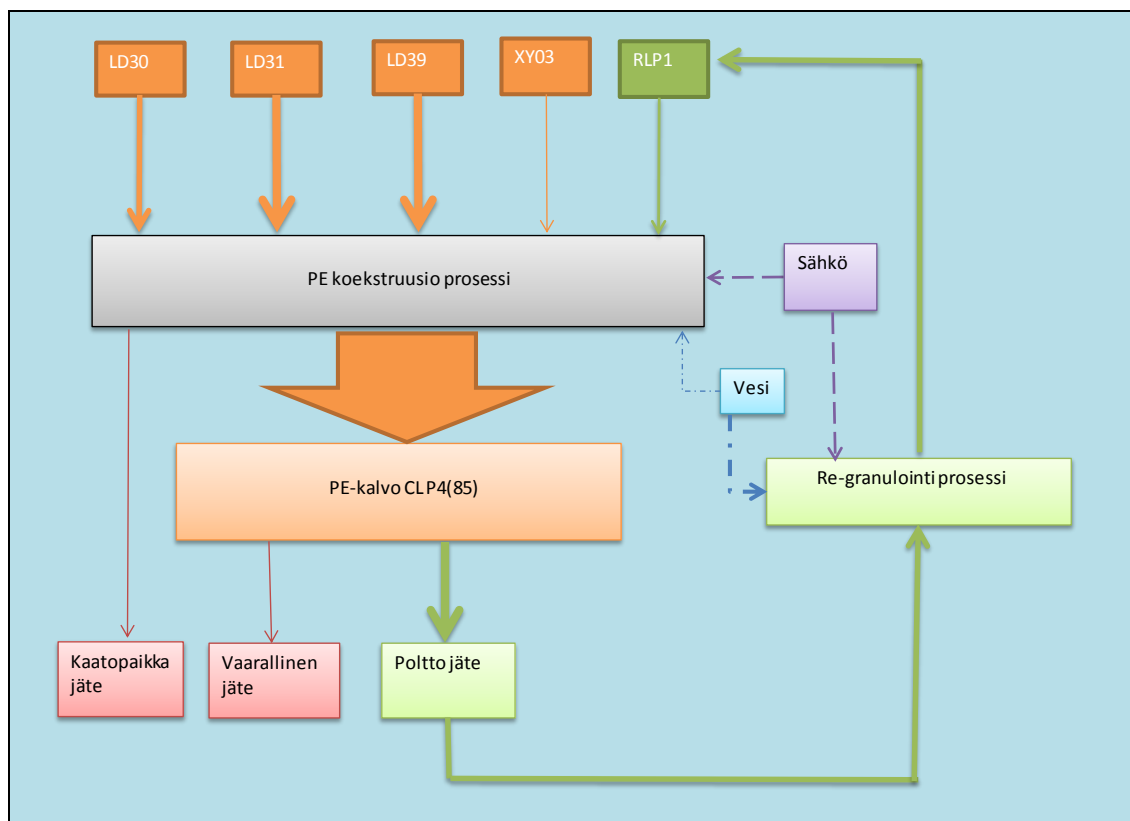
neitseellisestä raaka-aineesta korvataan kierrätetyllä, uudelleengranuloidulla materiaalilla. Asiaa lähestyttiin elinkaarianalyysin kautta. Käytettävänä elinkaarianalyysi ohjelmina olivat SimaPro ja ASSET, joka on käytössä Amcorilla. Kahden elinkaarianalyysiohjelman käyttö paransi tulosten luotettavuutta. Tutkittavaksi tuotannolliseksi yksiköksi valittiin tuotettu tonni.

Ympäristövaikutuksia tutkittaessa pääroolissa olivat ilmaston muutokseen vaikuttavat hiilidioksidipäästöt, jotka aiheuttavat ilmaston lämpenemistä. Hiilidioksidipäästöjä polyeteenikalvon valmistuksessa aiheutuu raaka-aineena käytettävien granulaattien valmistuksesta sekä niiden kuljetuksista että koekstruusio- sekä mekaanisen kierrätys prosessin vaatimasta energiasta. Myös jätteiden kuljetukset ja niiden loppusijoitus käsittelyineen aiheuttavat hiilidioksidipäästöjä.

Tutkimuksissa haluttiin selvittää ilmaston lämpenemiseen vaikuttavan hiilidioksidipäästöjen määrä. Tarkasteltiin vähenevätkö hiilidioksidipäästöt käytettäessä uudelleengranuloitua materiaalia. Hiilidioksidipäästöjen vähennys tulisi täten neitseellisen raaka-aineen käytön vähenemisestä sekä kuljetusmatkojen vähenemisestä. Elinkaarianalyysissä otettiin siis huomioon vältetyt päästöt. Kuljetusmatkat koostuivat neitseellisen raaka-aineen kuljetuksista sekä jättemateriaalin kuljetuksista. Kuljetusmatkat laskettiin tonnikilometreinä. Tonnikilometreinä laskettuna saadaan hiilidioksidipäästöt kohdennettua tuotetun tonnin tarvitsemaan raaka-aine määrään.

Kuviossa 8 on kuvattu neitseellisten raaka-aineiden käyttöä ja regranulaatin kiertoa. Kuviosta käy ilmi myös tuotannon tarvitsema energia ja luonnonvarat. Kalvomateriaalin valmistukseen tarvitaan neljää erilaista neitseellistä raaka-ainetta (LD30, LD31, LD39 sekä XY03) sekä mekaanisesti kierrätettyä regranulaattia (RLP). Yksi neitseellinen raaka-aine on jätetty pois sen todella pienen käyttömäärän vuoksi. Sen vaikutukset kustannussäästöihin tai ympäristöön ovat olemattomat. Muovikalvo valmistetaan koekstruusioprosessissa.

Tuotannon aikana syntyy kolmea erilaista jätettä. Jättejakeet ovat kaatopaikkajäte, vaarallinen jäte sekä polttojäte. Näistä jättejakeista polttojäte kierrätetään mekaanisesti regranulointiprosessissa ja käytetään uudelleen kalvonvalmistuksessa.



Kuvio 8. Polyeteeni- ja uudelleengranulointiprosessi.

#### 4 Aineisto ja menetelmät

Taulukossa esitellään kahden CLP4 (85) laadun eroavaisuudet. Toisena kalvona on kalvo, johon on käytetty pelkästään neitseellisiä raaka-aineita. Toiseen kalvoon on käytetty neitseellisten raaka-aineiden lisäksi myös regranulaattia. Näiden kahden kalvon erot on selvitetty niin raaka-aineiden kuljetusten- sekä käytön vähenemisenä. Huomioon on otettu myös jätteiden kuljetusmatkojen väheneminen. Toiminnallinen yksikkö on tuotettu tonni.

#### 4.1 Elinkaari inventaario

Taulukko 1. Kalvomateriaalien vertailu.

CLP4 (85) kalvomateriaalien vertailu			
		neitseellinen kalvo	regranulaattia sisältävä kalvo
kalvo µm	paksuus	85	85
raaka-aineiden käyttö kg	neitseellinen raaka-aine	1051	x
	regranulaatti	0	x
raaka-aineiden kuljetus Tkm	maantie	1105	1044
	vesi	5325	5325
jätteiden kuljetus Tkm	maantie	122	8,9

#### 4.2. Elinkaarianalyysi

Elinkaariarvioinnin keskeisin ajatus on suhteellinen lähestymistapa joka perustuu toiminnalliseen yksikköön. Elinkaarianalyysissä verrataan tutkittavaa kohdetta vertailuyksikköön. (ISO 14040, 24 - 25.) Toiminnallinen yksikkö tätä opinnäytetyötä varten tehdyssä elinkaarianalyysissä oli tuotettu tonni. Koska haluttiin selvittää mekaanisen jätteen kierrätyksen ympäristövaikutukset, verrattiin kalvoa, jossa on käytetty vain neitseellistä raaka-ainetta kalvoon, jossa on käytetty myös mekaanisesti kierrätettyä materiaalia. Vertailuyksikkönä oli siis peruskalvo, jossa käytettiin vain neitseellisiä raaka-aineita.

Elinkaarianalyysin laajuus määritellään kunkin tutkielman kohdalla erikseen. Lähtökohtana on tutkia tutkittava kohde käytetyistä raaka-aineista jätteiden loppusijoitukseen. Täten saadaan selville tutkittavan kohteen potentiaaliset ympäristövaikutukset. (ISO 14040, 24 - 25.)

Tutkittava kohde käsitellään elinkaarianalyysissä omana tuotejärjestelmänään. Tuotejärjestelmä puolestaan koostuu yksikköprosesseista. Välivalmistevirrat, jätevirrat, tuotevirrat tai perusvirrat yhdistävät yksikköprosessit toisiinsa. Tuotejärjestelmään sisältyvät myös syötteet (esim. raaka-aineet) ja tuotokset

(valmis tuote tai tuotteen osa). (ISO 14040, 26.) Elinkaarianalyysi pitää sisällään neljä vaihetta. Vaiheet ovat määrittelyvaihe, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi ja tulosten tulkinta. Nämä vaiheet selvitetään yksityiskohtaisesti seuraavissa kappaleissa.

#### **4.2.1 Määrittelyvaihe**

Määrittelyvaiheessa päätettiin elinkaarianalyysin laajuus ja tavoitteet. Elinkaarianalyysin näkökulmana ja tarkoituksena oli selvittää, kuinka paljon ympäristövaikutukset vähentyvät jätteen kierrättämisen avulla.

Tutkittavana tuotejärjestelmänä oli uudelleengranulointikone mutta varsin keskeisessä roolissa on myös polyeteenikalvon valmistus. Polyeteenikalvolinjastolta tuleva tuotantojäte uudelleen granuloidaan uudelleengranulointikoneella ja käytetään uudelleen polyeteeni kalvomateriaalin keskikerroksessa. Toiminnallinen yksikkö on tuotettu tonni. Yksikkö on selkeästi mitattavissa ja yksikön suhteen on normalisoitu syöte- ja tuotostiedot.

Järjestelmän rajauksessa päädyttiin ympäristövaikutuksiin eli hiilidioksidipäästöihin. Ympäristövaikutuksiin kuuluvat olennaisena osana: raaka-aineiden kuljetus, kalvon valmistus, regranulaatin valmistus PE-jätteistä, ja sen uudelleen käyttö PE-koneella. Lieksan tehtaan trukkiliikenne rajattiin pois, koska sen käyttö on normaalitoimintaa. Trukin akkuja ei siten esim. ladata erikseen uudelleengranuloidun materiaalin siirtoihin. PE-koneen ja tuotoksena on polyeteenikalvo. Uudelleengranulointikoneen tuotoksena on puolestaan muovikalvosta uudelleen raemaiseen muotoon saatettu polyeteeni.

Lähtötietojen ajallinen kattavuus on vuodelta 2012. Polyeteenilinjan sähkönkulutustiedot otettiin kummankin LCA-ohjelman tietokannoista. Uudelleen granulointikoneen sähkönkulutus laskettiin toimittajan antamista tiedoista, koska koneelta ei ole saatavilla erillistä sähkönkulutus tietoa.

Maantieteellisesti tilastot kerättiin Länsi-Euroopasta. Teknologisesti käytettiin sekoitusta erilaisista teknologioista. Lähtötietojen vaihtelua esiintyy varsinkin jätteen määrässä. Jätteen määrä riippuu polyteenilinjaston tilausten pituudesta, laadun vaihdoista, konehäiriöistä ja muista tekijöistä. Jätteen määrä onkin arvioitu keskimääräisesti polttojätteen ja kaatopaikkajätteen suhteen.

#### **4.2.2 Inventointi, raaka-aineet, jätteet, energia, vesi ja kuljetukset**

Inventaarioanalyysissä tehtiin tietojenkeräyslomakkeet raaka-aineiden kuljetukselle, yksikköprosesseille ja inventaarioanalyysille. Lomakkeille kerättiin syötteet, tuotokset ja päästöt ilmaan, veteen ja maaperään. Inventaarioanalyysin yhteydessä luotiin prosessikulkukaavio.

Standardissa on vaateet uudelleenkäytön ja kierrätyksen allokoinnille eli kohdentamiselle. Tuotejärjestelmä katsotaan suljetuksi, kun tuote kierrätetään samassa tuotejärjestelmässä. Allokointitarvetta ei ole silloin, kun kierrätetyn materiaalin luontaisissa ominaisuuksissa ei tapahdu muutoksia ja uusiomateriaali korvaa neitseellisen raaka-aineen käytön. Polyteenikalvo-jätteen käyttö uudelleen saman kalvon keskikerroksessa on suljettu kierto.

#### **Raaka-aineet**

Tärkeimpiä selvityksiä olivat raaka-aineiden käyttömäärät koekstruusio-prosessissa. Polyteenikalvolaadun jokaiselle paksuudelle on perustettu oma rakennenumero AFF Lieksan tuotannonohjausjärjestelmään. Kullekin rakennenumerolle on kirjattu kyseiseen rakenteeseen käytettävät raaka-aineet ja niiden määrät. Jokaisesta tilauksesta tulostetaan työmääräin, johon tuotannonohjausjärjestelmä on laskenut raaka-aineiden käyttömäärät tilausmäärää kohti.

Lieksan polyteenilinjastolla käyttömäärältään suurimmat ovat LD- ja LLD-polyteenit. Lisäksi käytetään pieniä määriä MD-polyeteeniä, seosaineita, apuaineita ja väriaineita. Elinkaarianalyysiä varten selvitettiin raaka-ainetoimittajilta raaka-aineiden valmistuspaikka, kuljetustapa ja kuljetusmatkat.



AFF Lieksan tehtaan varastokirjanpidosta selvitettiin keskimääräiset tilausmäärät. Tilausmäärien koko antoi viitteitä tilausta kuljettavan rekan koosta.

Raaka-aineiden pakkauksia selvitettiin muoviosaston raaka-aine varastosta, sekä raaka-aineita tilaavalta henkilöltä että muovin tuotantotiimin vetäjältä. Eniten käytettäviä raaka-aineita tuodaan säiliöautoilla, ja ne puretaan raaka-ainesiiiloihin. Kolme neljästä tutkittavasta raaka-aineesta oli siilotavaraa, eli kuljetukset toimitettiin joko säiliöautoilla tai ns. konttiautoilla. Syötteinä elinkaarianalyysin inventaariin olivat polyeteenikalvon valmistukseen käytettävien raaka-aineiden kilomäärät (kg) tuotettua tonnia kohden.

### **Jätteet**

Koekstruusio prosessissa syntyvän jätteen kirjanpito kattaa uudelleengranuloidun jätteen kilomäärät ja myydyn jätteen kilomäärät. Aineiston keruu muiden kuin uudelleengranuloidun jätteen suhteen oli haastavaa, koska PE-koneella ja uudelleengranulointikoneella syntyviä poltto-, ongelma- ja kaatopaikkajätteitä ei vielä tuolloin punnittu. Talousosastolla jätteiden määrää seurataan raaka-aineiden ja uudelleengranuloidun materiaalin kulutuksen ja valmistuneen tuotannon määriä seuraamalla.

Jätteitä syntyy raaka-aineiden pakkauksista, koekstruusio prosessin laadunvaihtoista sekä tuotannon alasajoista että uudelleen käynnistyksistä. Koekstruusio prosessin laadunvaihtoissa syntyy pääsääntöisesti kalvojätettä, joka ajetaan rullalle. Osa kalvojätteestä poistetaan tuotantorullista lusaamalla. Lusattu jäte laitetaan erilliseen merkattuun keräilyastiaan. Rullamuotoinen ja lusattu jäte kierrätetään mekaanisesti eli saatetaan uudelleen raemaiseen muotoon.

Tuotantoajan aikana syntyvää jätettä ovat reunanauhajäte ja ongelmajätteeksi luokiteltava, pintakäsittelyliuosta sisältävä jäte. Pintakäsittely tarkistetaan jokaisesta valmistuvasta tuotantorullasta. Kalvoa otetaan tuotantorullasta n. 30-50 cm:n levyinen liuska.

Polyeteenikalvon sähkökäsittelyn (koronointi) taso tarkastetaan erityisesti käsittelyn testausta varten valmistetulla liuoksella. Liuos sisältää myrkyllisiä kemikaaleja. Liuosta sisältävät jätteet kerätään kannellisiin astioihin ja toimitetaan ongelmajätelaitokselle. Ongelmajätettä syntyy tuotettua tonnia kohti alle 0,2 %.

PE-koneen reunanauhajätettä muodostuu koko ajan tuotannon ollessa käynnissä. Letkumaisessa muodossa olevan kalvon halkaisun jälkeen kalvo leikataan sopivan levyisiksi rulliksi. Reunanauhajäte kerätään isoon säkkiin ja toimitetaan polttoon.

Koekstruusio prosessin tuotannon keskeytyksistä, ns. ylös- ja alasajoissa syntyy kovaa polyeteenimassaa. Polyeteenimassajäte on kaatopaikkajätettä. Muutaman kerran vuodessa syntyy myös ”raon rapsutus” eli suuttimen puhdistuksesta aiheutuvaa jätettä. Suuttimen puhdistusjätteen osuus on erittäin pientä. Myös rullamuotoista ja lusattua jätettä voi syntyä tuotannon keskeytyessä.



Kuva 8. Kovettunutta polyeteeni massajätettä. (Kuva: Leena Hyttinen.)

Käyttömäärältään suurimmat polyteeni raaka-aineet ovat siilotavaraa, eli ne puretaan kuljetusauton säiliöstä/kontista suoraan raaka-ainesiiloon. Granulaatti raaka-aineiden pakkaukset ovat pääsääntöisesti PELD-säkkejä. Muutama raaka-aine tulee paperi- tai alumiinisäkissä. Säkit sisältävät 20 - 25 kg raaka-ainetta. PELD-säkit paalataan paalaimessa ja myydään.

Säkeissä olevat raaka-aineet tulevat puulavoilla. Hyväkuntoisia puulavoja uudelleen käytetään tarpeen mukaan omassa tuotannossa tai Amcorin tuotantolaitosten välisissä kuljetuksissa. Huonokuntoiset puulavat menevät polttojätteeksi. Jätteiden syöteinä elinkaari-inventaariin olivat kalvonvalmistus prosessin jätejakeiden kilomäärät tuotettua tonnia kohden.

### ***Jätteiden määrät***

Polttojätteen määrä laskettiin vähentämällä paikallisen jätetoimijan laskuista AFF Lieksan tehtaalla punnittu jousto-osaston polttojäte. Muoviosaston jätteeksi jäi 33 tonnia polttojätettä. Muoviosaston polttojätettä syntyy kunnossapidon osalta (konttorin ja tuotannon siivous, sähkö- ja mekaaninen kunnossapito), PE-koneelta, tuotannon pakkaustyöpisteestä ja erittäin vähäisiä määriä uudelleengranulointikoneelta. Arvioin kunnossapidon osuuden polttojätteeksi n. 22 tonnia, joten puhalluskalvolinjan ja pakkauksen polttojätteen osuus olisi n. 11 tonnia/vuosi. Tämä luku kattaa kaikki PE-kalvolaadut.

Seuraavana arviointikohteena oli CLP4 (85) laadun osuus polttojätteestä. Ensin selvitettiin jokaisen CLP-laadun (CLP4, CLP2 ja CLP5) 2012 vuoden tuotantomäärät kiloina. CLP4-laadun osuus laskettiin edellä mainituista CLP-laaduista. Lasketulla jaolla saatiin CLP4(85):n osuus RLP1 laadun granuloidusta määrästä. Tätä samaa suhteutusta käytettiin polttojätteen määrän arviointiin.

Eräänä polttojätteen arviointi kriteerinä oli paperisäkki jossa oli muovinen sisäosa. Yhden CLP4 (85) kalvoon käytettävän raaka-aineen pakkaus on muovitettu paperisäkki. Paperisäkin paino on noin 150 g. Säkki sisältää 25 kg raaka-ainetta. Kyseistä raaka-ainetta kuluu yhden tuotantotonnin

valmistamiseen 11 kg. Säkillinen eli 25 kiloa edellä mainittua raaka-ainetta kuluu valmistettaessa 2300 kiloa CLP4 (85) kalvoa. CLP4 (85) laatua on valmistettu vuoden 2012 aikana 534 447 kg. Tähän määrään raaka-aineen paperista pakkausjätettä on muodostunut vain 35 kg.

Ongelmajätteen määrä laskettiin. Laskeminen aloitettiin neliöpainosta ( $\text{g/m}^2$ ). Neliöpaino ilmaisee kuinka paljon yksi neliömetri kalvoa painaa. 85  $\mu\text{m}$ :n paksuisen kalvon neliöpaino saatiin kertomalla kalvon tiheys kalvon paksuudella. CLP4 (85) kalvon neliöpaino on  $78,4 \text{ g/m}^2$ . Tuhannen kilon tuotantoerästä tarvittiin noin  $1 \text{ m}^2$  kalvoa pintakäsittelyn tarkistamiseen. Tämä neliöpainolle laskettu grammamäärä ( $78,4 \text{ g/m}^2$ ) kerrottiin vuoden PE-tuotannon tonni määrällä. Kokonaismääräksi saatiin noin 200 kg ongelmajätettä/vuosi. Tämä laskentatapa pätee kaikille PE-kalvolaaduille, suhteutettuna kunkin kalvon paksuuteen.

Kaatopaikkajätteen määrä arvioitiin AF Lieksan tehtaan kaatopaikkajätteen kokonaismäärästä. Lieksan tehtaalla syntyi vuoden 2012 aikana 24 tonnia kaatopaikkajätettä. Arvioin PE-linjan kaatopaikka jätteeksi vuositasolla noin 2 tonnia. Jätteen määrä olisi PE-koneella näin laskettuna  $5,5 \text{ kg/vrk}$ . Tämä kattaa kaikki PE-kalvolaadut. Polyeteenilinjan kaatopaikka osuudesta arvioin CLP4 laadun osuudeksi neljäs osan, koska kaikkien CLP-laatuojen osuus polyeteenilinjan ajoista on 44 %. Puolestaan CLP4(85) osuus ajetuista CLP-kalvoista oli noin 47 %.

CLP4(85):n jätemäärät laskettiin yhteen ja näin saatiin jätteiden kokonaismäärä. Tästä saatiin laskettua kokonaisjätteen prosentti ja jätejakeiden erilliset prosentit. Kun uudelleen granuloitavien jätteiden määrä laskettiin prosentteina kokonaisjäte määrästä, saatiin tulokseksi 6,4 %. Tämä tarkoittaa sitä, että tuhannen kilon tuotantoerästä jätettä syntyy 64 kg. Mekaanisesti kierrätettävän jätteen osuus oli 94 %, molempien sekä kaatopaikka- että polttojätejakeiden osuudeksi arvioitiin 2,9 % ja ongelmajätteen osuudeksi laskettiin 0,2 %.

## **Energia**

Puhalluskalvolinja tarvitsee energiaa ekstruuderien lämmittämiseen, moottoreihin, materiaalien siirtoon jne. Uudelleen granulointikone tarvitsee sähköä mm. materiaalin siirtoon, silppuamiseen ja sulattamiseen. Uudelleengranulointikoneen sähkönkulutus ei ole kytketty erilliseen sähkömittariin, joten sen sähkönkulutus laskettiin konetoimittajan antaman tehon ja uudelleengranulointikoneen työtuntien perusteella. Energian laskemiseen tarvittiin myös uudelleengranulointikoneen kilomääräinen keskituotto 2012 vuodelta.

Puhalluskalvoprosessin sähkönkulutukset on otettu elinkaarianalyysien (SimaPro ja ASSET) valmiista tietokannoista. Sähkön hinta (€/kwh) oli v. 2012 v Amcorilta laskutetun sähkön keskimääräinen hinta. Syötteinä elinkaari-inventaariin, olivat koekstruusioprosessin sähkönkulutus (kwh), tuotettua tonnia kohden. Puolestaan uudelleengranulointikoneen sähkönkulutus laskettiin sille kilomäärälle, jota käytetään valmistettaessa tuhat kiloa PE kalvoa

## **Vesi**

Muovikalvoja valmistavassa tehdasrakennuksessa on vain yksi vedenkulutusmittari. Koneille ei ole asennettu erillisiä kulutusmittareita. Kun prosessissa on suljettu vedenkierto, se tulkitaan nolaksi. Tuoreistettavan veden kulutusmäärät uudelleengranulointikoneella, on laskettu konetoimittajan antamien kulutustietojen perusteella. Kulutustiedot on kerrottu uudelleengranulointikoneen käyttötuntien määrällä.

Polyeteenin puhalluskalvoprosessissa on suljettu vedenkierto. Vettä käytetään telojen jäähdytykseen. Vesi ei ole suorassa kontaktissa tuotteen kanssa. Puolestaan uudelleengranulointiprosessissa sulaa massaa jäähdytetään tarpeen mukaan vedellä ja valmiit granulaatit jäähdytetään juoksevassa vedessä. Vesi on talousvettä, jota tuoreistetaan tuotannon ollessa käynnissä. Syötteinä elinkaari-inventaariin oli uudelleen granulointikoneen käyttämä veden määrä litraa (l). Veden määrä laskettiin tuhannen kilon CLP4 (85) kalvomateriaalin käytettävän regranulaatin kilomäärää kohden.

## **Kuljetukset**

Kuljetuksia syntyi raaka-aineen toimituksesta sen valmistustehtaalta Lieksan tehtaalle. Samoin kuljetuksia syntyi eri jätejakeiden kuljetuksista. Kuljetusmuotoina olivat auto- ja laivaliikenne. Tonnikilometrejä laskettaessa otettiin tieliikenteen osalta huomioon, sekä meno- ja paluukuormat. Tieliikenteen kuormaksi valittiin 70 %:n kuorma, koska paluukuormaa ei pääsääntöisesti ollut.

Laivaliikenteessä otettiin huomioon vain menokuorma, koska vesiliikenteen raaka-ainekuljetukset tapahtuivat pääsääntöisesti kontteja kuljettavissa aluksissa eikä säiliölaivoissa. Syöteinä elinkaari-inventaariin olivat neitseellisten raaka-aineiden ja jätejakeiden kuljetusten tonnikilometrit (tkm) tuotettua tonnia kohden.

## **Päästöt**

PE-koneen suljetusta kierrosta ei synny päästöjä veteen, mutta puolestaan uudelleen granulointikoneesta syntyy jätevesipäästöjä pieniä määriä. PE-kone ja uudelleengranulointikone eivät tuota päästöjä maaperään. Kuljetuksista muodostuu mm. hiilidioksidipäästöjä. Liikenteen keskimääräiset päästöt (g/Tkm) saatiin VTT:n Lipasto-sivustoilta. Lipasto on Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energianlaskennan laskentaohjelma. Syöteinä elinkaari- inventaariin olivat liikenteen päästöt, CO<sub>2</sub> grammaa/tonnikilometri (g/Tkm) tuotettua tonnia kohden.

### **4.2.3 Vaikutusarviointi**

Vaikutusarvioinnissa käytetään hyväksi inventaarissa saatuja tietoja. Vaikutusarviointi on suhteellinen lähestymistapa, ja se perustuu toiminnalliseen yksikköön. Vaikutusarvioinnissa on pakollisia ja vapaaehtoisia osia.

Standardi 14044 vaatii tehtäväksi vaikutusluokan valinnan. Samassa yhteydessä valitaan myös vaikutusluokkaindikaattori ja karakterisointikerroin.

Toinen standardin vaatima pakollinen osa on inventaarioanalyysissä saatujen tulosten luokittelu. Tällöin inventaarioanalyysissä saadut tulokset sijoitetaan vaikutusluokkiin. Viimeinen standardin vaatima pakollinen osa on tulosten laskeminen. (SFS ISO 14044 2006, 42.)

Taulukossa 2 on standardin ISO 14044 termiesimerkkejä, jotka soveltuivat suoraan tehtyyn elinkaarianalyysiin, jonka tavoitteena oli selvittää hiilidioksidipäästöjen vähennys.

Taulukko 2. Termiesimerkkejä.

Termiesimerkkejä	
Termi	Esimerkki
Vaikutusluokka	Ilmastonmuutos
Inventaarioanalyysin muutokset	Kasvihuonekaasujen määrä toiminnallista yksikköä kohti
Karakterisointimalli	Kansainvälisen ilmastomuutospaneelin (intern governmental Panel on Climate Change) 100 vuotta kattava vertailumalli
Vaikutusluokkaindikaattori	Infrapunasäteilypakote (W/m <sup>2</sup> )
Karakterisointikerroin	Ilmastonlämpenemispotentiaali (GWP100) kunkin kasvihuonekaasun osalta (kg CO <sub>2</sub> -ekvivalenttia/kg kaasua)
Vaikutusluokan indikaattoritulos	Kilogrammaa CO -ekvivalnettia toiminnallista yksikköä kohti
Vaikutusluokan loppupisteet	Koralliriutat, metsät, sato
Ympäristörelevanssi	Infrapunasäteilypakote vaikuttaa välillisesti potentiaaliin ilmastovaikutuksiin ja riippuu kokonaisvaltaisesta ilmakehän lämpöadsorptiosta, jota aiheuttavat päästöt ja lämpöadsorption ajallinen jakautuminen.

Vaikutusarvioinnin valinnaisia osia ovat indikaattoritulosten normalisointi. Tällöin tuloksia verrattaisiin suhteessa muuhun. Esimerkiksi kuinka pitkään voitaisiin käyttää tietokonetta sillä energiamäärällä, joka tarvitaan raaka-aineiden valmistamiseen ja prosessien ylläpitoon, joita yhden tonnin pe-kalvon valmistus vaatii.

### 4.3 EPD 2008

SimaPron metodin valinta vaikuttaa vaikutusluokkiin. EPD (2008) metodissa raportoidaan vain yksi vaikutusluokka. Valittavia vaikutusluokkia ovat: ei-uusiutuva eli fossiili, Ilmaston lämpeneminen (GWP100), otsonikerroksen väheneminen (ODP), happamoituminen, fotokemiallinen hapetus ja rehevöityminen. Koska opinnäytetyössä tarkasteltavana ympäristövaikutuksena oli hiilidioksidipäästöjen väheneminen, vaikutusluokaksi valikoitui luonnollisesti ilmaston lämpeneminen (GWP100).

Tuotteen ympäristöseloste eli EPD on kehitetty yksinkertaistamaan elinkaariarvioinnin tuloksia ja myös kertomaan niistä markkinoille. Se on standardoitu eikä siinä käytetä painotusta. EPD on selvitys elinkaariarvioinnista eikä se yksistään takaa ympäristöystävällisyyttä. (Zbicinski, Stavenuiter, Kozlowska & van de Coevering 2006, 193.)

### 4.4 Kustannussäästöt

Taulukko 3. Kustannussäästölaskelmat

Vuoden 2012 kustannussäästöt								
Re-granulaatin käyttö kg/vuosi	Kulut mikäli PE-koneella olisi käytetty neitseellistä raaka-ainetta (LD39)--> RLP	Kulut mikäli PE-koneella olisi käytetty neitseellistä raaka-ainetta (LLD2)--> RLL	Kulut, mikäli PE-koneen puhdistus ajoissa olisi käytetty neitseellistä raaka-ainetta**	Sähkökulut re-granuloidusta määrästä	Puhtaan veden kulut, re-granuloidusta määrästä	Jätevesi kulut re-granuloidusta määrästä	Tulot mikäli re-granuloitava jäte olisi myyty	Säästö €
kg	€	€	€	€	€	€	€	€

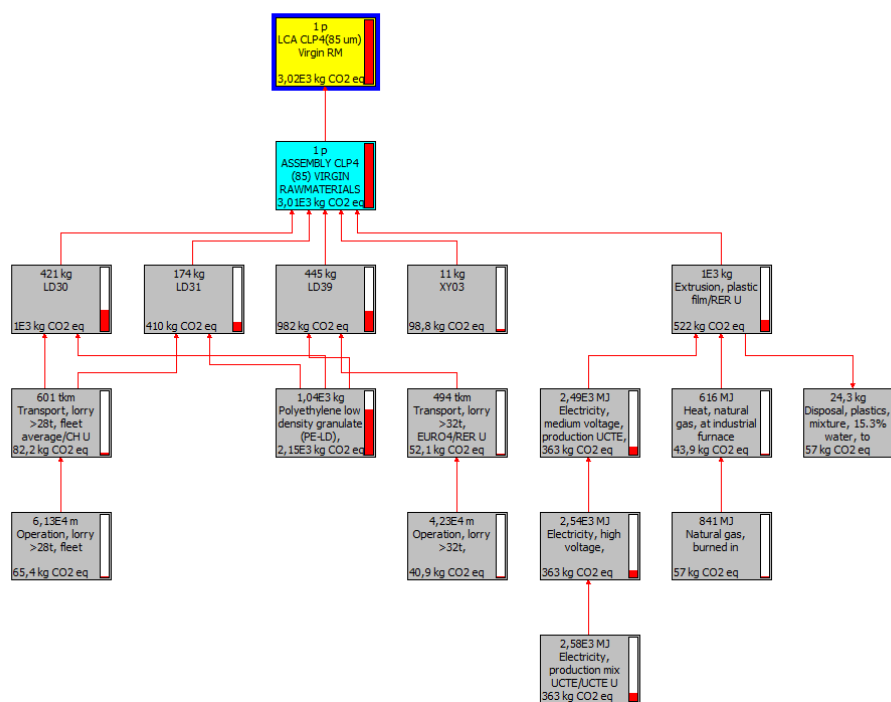
Kustannussäästölaskelmat jäivät Lieksan tehtaan omaan käyttöön. Niitä ei julkaista. Kustannussäästöjä laskettaessa selvitettiin vuoden 2012 aikana regranuloitu määrä. Seuraavaksi selvitettiin, kuinka paljon tuotannossa on käytetty regranulaatteja. Käytettyjen regranulaattien määrä otettiin laskelmien lähtötilanteeksi.



Kunkin laadun käytetty määrä kerrottiin aiemmin kalvoissa käytetyillä neitseellisten raaka-aineiden hinnalla. Tästä saadusta summasta vähennettiin regranolointi koneen sähkön- ja veden kulutuskustannukset ja PE-kalvon myyntitulot. Nämä kustannukset on laskettu granuloidun määrän perusteella.

## 5 Tulokset

### 5.1 Ympäristövaikutusten arviointi



Kuvio 9. Elinkaarianalyysi SimaPro, CLP4 (85) neitseelliset raaka-aineet.

Kuviosta saa selkeästi selville hiilidioksidipäästöjen suurimman lähteen 66 % (2 150 kg) eli muoviraaka-aineen valmistuksen. Kalvomateriaalin valmistukseen käytettävä sähkö tuottaa 17 % (522 kg) kokonaishiilidioksidipäästöistä. Kuljetuksista tulee noin 240 kg hiilidioksidipäästöjä. Tämä on alle 10 % kokonaispäästöistä. Loppuosa eli jätteenkäsittely (poltto, kaatopaikka) tuottaa 108kg hiilidioksidia. Se on 3,6 % kokonaispäästöistä. Tämä johtuu poltettavien ja kaatopaikalle menevien jätteiden varsin pienistä määristä.

Elinkaarianalyysia jossa esitetään uudelleengranuloidun materiaalin vaikutus hiilidioksidipäästöihin, ei julkaista. Syynä ovat sen sisältämät tarkat raaka-aineiden kilomäärät. Sen sijaan julkaistaan SimaPro ohjelmasta kopioitu vaikutusarviointitaulukko, josta käy ilmi hiilidioksidipäästöjen vähennys.

Taulukko 4. SimaPro, ympäristövaikutustulokset.

Impact category	Unit	CLP4 virgin + regran RM	CLP4 Virgin RM
Global warming (GWP)	kg CO <sub>2</sub> eq	2,77E+03	3,02E+03
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC -11eq	5,50E-05	5,82E-05
Photochemical oxidation	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	6,53	7,12
Acidification	kg SO <sub>2</sub> eq	10,2	11
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> eq	0,907	0,98
Non renewable, fossil	MJ eq	7,99E+04	8,82E+04

Elinkaarianalyysin luotettavuus varmistettiin tekemällä elinkaarianalyysi kahdella elinkaarianalyysiohjelmalla. Ohjelmissa on osin sama tietokanta. Julkaistavat tulokset ovat SimaPro-elinkaarianalyysiohjelmasta saadut tulokset. Tuloksissa on hienoista poikkeamaa, mutta se selittyy juuri ohjelmien erilaisista tietokannoista.

SimaPron elinkaarianalyysi antaa pelkästään neitseellisiä raaka-aineita käytettävän kalvomateriaalin hiilidioksidipäästöiksi 3 020 kg. Kun kalvossa on käytetty mekaanisesti kierrätettyä regranulaattia, hiilidioksidipäästöt laskevat 2 770 kilogrammaan. Hiilidioksidipäästövähennys käyttämällä mekaanisesti kierrätettyä regranulaattia on 250 kg tuotettua kalvotonnia kohti.

Neitseellisestä raaka-aineesta (LDPE) muodostui noin 80 % hiilidioksidi päästöistä. Kuljetukset, niin raaka-aineiden kuin jätteidenkin, aiheuttavat varsin vähäisiä päästöjä, n. 250 kg CO<sub>2</sub>. Koekstruusio puhalluskalvo prosessin ja regranulointiprosessin vaatima energia tuottaa varsin viidesosan hiilidioksidipäästöistä eli noin 500 kg CO<sub>2</sub>. Päästömäärät vaihtelevat hieman elinkaariohjelmien välillä.

Hiilidioksidipäästöjen väheneminen johtuu suurimmalta osin neitseellisen raaka-aineen LDPE:n käytön vähenemisestä mutta myös kuljetusten vähenemisestä. Vaikka tuotettua tonnia kohden käytetään varsin vähäisiä määriä regranulaattia, silti se elinkaarianalyysien perusteella vähentää merkittävästi hiilidioksidipäästöjä.

CLP4 (85)-laatua on tuotettu AF Lieksan tehtaalla vuoden 2012 aikana 534 tonnia. Tästä voidaankin nopeasti laskea hiilidioksidimäärien väheneminen vuositasolla. Kun hiilidioksidipäästöt vähenevät 250 kg tuotettua tonnia kohden niin hiilidioksidi päästöjen vähennys pelkästään CLP4(85)-laadun osalta on 133 tonnia. CLP4(85)-laatuun käytettäviä raaka-aineita käytetään myös muissa CLP- laaduissa hieman eri määriä. CLP-laatuja on ajettu vuoden 2012 aikana 1020 tonnia. CLP-laatujen hiilidioksidipäästövähennykset ovat noin 255 tonnia.

## **6 Tulosten tulkinta**

Tässä osiossa tarkastellaan saatuja tuloksia. Tarkasteltavana on polyeteenin mekaanisesta kierrättämisestä tulevat kustannussäästöt ja ilmastovaikutukset. Ilmastovaikutuksista tarkasteltiin lähinnä hiilidioksidipäästöjen vähenemistä. Mikäli polyeteenikalvotuotannon jätemäärä on vähemmän tai enemmän kuin laskennalliset 64 kg tuotettua kalvotonnia kohti, ympäristövaikutukset ja kustannussäästöt olisivat luonnollisesti hieman erilaiset.

Kustannussäästölaskelmissa otettiin huomioon neitseellisen raaka-aine käytön väheneminen, uudelleengranulointikoneen käyttämän energian ja veden tarve. Huomioon otettiin myös se että mikäli polyeteenijätettä ei uudelleen granuloitaisi, se myytäisiin, jolloin myyntitulot vähenisivät.

Vuonna 2012 polyeteenijätettä on myyty hieman alle 30 000 kg. Myytävänä laatuna on enimmäkseen ollut EVOH-laatuja ja muita laatuja, joita ei uudelleengranuloida. Vuonna 2012 on uudelleengranuloitu koekstruusiolinjan jätettä 137 191 kg. Uudelleengranuloidun jätteen kilomäärä suhteutettuna kokonaistuotannon kilomäärään on 5 %.

Polyeteeni jätelaatuja joita nyt uudelleengranuloidaan, on aiemmin vuositasolla tullut n. 120 tonnia. Kyseisen jätemuovin myynnistä saatava vuositulo olisi ollut kymmeniä tuhansia euroja.

Uudelleengranulointikoneen teho on valmistajan antaman tiedon mukaan, 84 kw ( $\pm 10\%$ ), ja sen vedenkulutus on 19 l/h. Sähkönkulutus (Kwh) kerrottiin keskimääräisellä sähkön hinnalla, jolla AF Lieksan tehdasta on laskutettu vuonna 2012. Uudelleengranulointikonetta käytetään yhdessä vuorossa viitenä päivänä viikossa. Koneen tehollista työaikaa on n. 6,5 h/vrk, koska koneen käynnistämiseen ja lämmittämiseen sekä sulkemiseen kuluu oma aikansa (Hollström 2013).

Neitseellinen raaka-aine, jota korvataan RLP1-laadulla eli uudelleen granuloidulla materiaalilla, on hinnaltaan 1,2 €/kg. PE-kalvon keskikerrokseen annostellaan X% uudelleengranuloitua materiaalia. Koko kalvosta uudelleen granuloidun materiaalin osuus on muutama prosentti. Uudelleengranuloitua materiaalia käytettiin 2012 vuonna 120 tonnia.

Polyeteenijätteen uudelleengranulointi on kannattavaa myös taloudellisesti. Tässä opinnäytetyössä ei julkaista tarkkoja euromääräisiä lukemia säästöistä. Tarkemmat lukemat jäävät AF Lieksan tehtaan omaan käyttöön. Voidaan kuitenkin todeta, että vuositasolla säästöä syntyy useita kymmeniä tuhansia euroja. Polyeteenikalvojen kierrättäminen on siis varsin kannattavaa.

## 6.2 Vaikutusarviointi

Taulukko 5. SimaPro, hiilidioksidipäästöt.

LCA-ohjelma	Ilmaston lämpenemis potentiaali GWP100	Raaka-aineet kg CO <sub>2</sub> eq	Valmistus prosessit kg CO <sub>2</sub> eq
SimaPro	CLP4(85)	2150	522
	CLP4(85) + regran	1930	522 (+ regranulointi prosessi)

Taulukossa on esitetty SimaPro-ohjelmasta saadut tulokset. ASSET-ohjelmasta saadut tiedot ovat vain Amcorin omaan käyttöön. CLP4 (85) polyeteenikalvolaadun tuotettuun tonniin käytettävän regranulaatin määrä niin määrällisesti kuin prosentuaalisesti laskettuna on varsin pieni. Kuitenkin sen vaikutus hiilidioksidipäästöjen määrään on korkea. Tämä johtuu siitä, että polyeteeni valmistetaan uusiutumattoman luonnonvaran sivuprosessista. Suurimmat hiilidioksidipäästöt (71 %) muodostuivat odotetusti neitseellisestä polyeteeniraaka-aineesta. Kalvonvalmistuksesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt olivat 17 %. Loput 12 % muodostuivat kuljetuksista ja jätteenkäsittelystä.

Elinkaarianalyysiohjelmien laskemien tulosten välille syntyi odotettavasti eroja, koska SimaPro ja Asset käyttivät vain osin samoja tietolähteitä. Kuitenkin tulokset olivat varsin lähellä toisiaan. Näillä kahdella eri ohjelmalla laskettuna hiilidioksidipäästön vähennys, käyttämällä uudelleengranuloitua materiaalia, hiilidioksidipäästöjen ero oli alle 100 kg tuotettua kalvotonnia kohden.

Kun CLP4 kalvossa käytettiin polyeteenilinjan CLP-tuotantojätteestä regranuloitua RLP1-materiaalia ja täten korvattiin osa neitseellisestä raaka-aineesta, päästöt vähenivät 250 kiloa (9 %) tuotettua kalvotonnia kohden. Tämä osoittaa sen että polyeteenijätteen hyödyntäminen materiaalina vähentää hiilidioksidipäästöjen määrää.

Tarkastellessa hiilidioksidipäästöjen lähteitä, huomataan että suurimmat hiilidioksidipäästöt muodostuvat polyeteeni LDPE raaka-aineen valmistamisesta (2150 kg). Granulaattien kuljetukset edustavat vähäisiä päästöjä, vaikka yksi raaka-aineista kuljetaan Japanista saakka. Toisaalta kyseistä raaka-ainetta käytetään tuotetussa polyeteenikalvossa hyvin vähäisiä määriä. Jätteiden kuljetuksien aiheuttamat hiilidioksidipäästöt ovat erittäin vähäisiä.

Kun kalvomateriaalissa käytetään mekaanisesti kierrätettyä materiaalia se vähentää hiilidioksidipäästöjä. SimaPRO laskee vähennykseksi 250 kg ja ASSET 154 kg. Tulokset ovat varsin lähellä toisiaan.

SimaPro ohjelmalla laskettuna hiilidioksidipäästöjen vähennys on 9 %.

Puolestaan ASSET-ohjelmalla laskettuna vähennys on 6 %. Tulokset ovat varsin lähellä toisiaan. Näin ollen voidaan päätellä että tulokset ovat luotettavia.

Kaikkien CLP-laatujen (CLP2, CLP4 ja CLP5) 2012 vuoden tuotantomäärä on ollut 1 020 tonnia. Kun laskettiin hiilidioksidi päästövähennys karkealla tasolla CLP-laatujen osalta, saatiin tulokseksi 2012 vuoden osalta 255 tonnia. Mitä sitten käytännössä tarkoittaa hiilidioksidi päästö vähennys, joka on aikaansaatu jätemateriaalia uudelleen käyttämällä? Jonkinlaista mittasuhdetta saadaan siitä, kun verrataan saatua hiilidioksidipäästö vähennystä esimerkiksi Suomen vuosittaiseen hiilidioksidipäästöön.

Suomen hiilidioksidipäästöt v. 2012 olivat 64,1 miljoonaa tonnia. Tällöin Lieksan tehtaalla mekaanisesti kierrätetyn materiaalin käytöstä saatu hiilidioksidipäästövähennys CLP-laaduilla (255 t CO<sub>2</sub>) on 0,0004 % Suomen hiilidioksidipäästöistä. Vaikka lukema tuntuu vähäiseltä, on se kuitenkin suuri lukema verrattuna siihen, kuinka vähän mekaanisesti kierrätettyä jätemateriaalia tuotettuun kalvotonniin käytetään.

AF Lieksan tehtaalla voitaisiin harkita uudelleengranuloidun materiaalin käytön hienoista lisäämistä. Mikäli näin tehtäisiin, tulisi varmentaa, ettei se vaikuta kalvomateriaalin laatuun. Toisaalta regranulaatin käyttöä kokonaan uudenlaiseen kalvomateriaaliin tulisi harkita.

SimaPro:n metodi EPD2008 sisältää hiilidioksidipäästöjen lisäksi seuraavanlaisia ympäristövaikutuksia: valokemiallinen hapettuminen, happamoituminen, otsonikerroksen väheneminen, rehevöityminen ja fossiiliset raaka-aineet. Näiden ympäristövaikutusten tulkinta ei ollut opinnäytetyön päätarkoitus, joten niitä ei tarkemmin tulkittu. Kuitenkin katsottiin että opinnäytetyössä on tarpeellista selostaa, mitä näillä ympäristövaikutuksilla tarkoitetaan ja ovatko ne paikallisia vai maailmanlaajuisia.

Elinkaarianalyysin tulosten perusteella polyeteenimuovijätteen kierrättäminen pieninäkin määrinä on hiilidioksidipäästöjen suhteen kannattavaa. Kun

uusiutumattomasta luonnonvarasta tehtyä polyeteeniä kierrätetään, sen sisältämän hiilen vapautumista luonnon kiertokulkuun saadaan viivästettyä. Myös fossiilisen luonnonvaran käyttö vähenee.

Mikäli polyeteenijäte lähetettäisiin suoraan polttoon ilman kierrätystä, polttoprosessissa vapautuisi muovin sisältämä hiili hiilidioksidina ilmakehään. Mikäli hiilidioksidin määrän kasvua ilmakehässä saataisiin hillittyä maapallon ilmaston lämpenemistä ja siitä johtuvia luonnon katastrofeja saataisiin edes hieman estettyä. Fossiilisten raaka-aineiden korvaaminen uusiutuvilla raaka-aineilla on tulevaisuuden suurimpia haasteita. Suurin osa nykyisestä teollisuudesta ja hyvinvoinnista on aikaansaatu käyttämällä fossiilisia raaka-aineita.

Onkin varsin tärkeää, että raaka-aineita, joiden alkuperä on uusiutumaton, kierrätetään mahdollisimman tehokkaasti. Näin saamme itsellemme lisää aikaa kehittää teknologiaa, joka hyödyntää tehokkaasti uusiutuvia raaka-aineita, ennen kuin fossiiliset raaka-aineet ovat kulutettu loppuun.

## Lähteet

- American Chemistry Council. Ethylene, Product stewardship guidance manual. 2004.  
[http://www.lyondellbasell.com/techlit/techlit/Handbooks%20and%20Manuals/ACC\\_Ethylene\\_Manual%203096.pdf](http://www.lyondellbasell.com/techlit/techlit/Handbooks%20and%20Manuals/ACC_Ethylene_Manual%203096.pdf). 31.8.2013.
- British Plastic Federation. 2008. Oil consumption.  
[http://www.bpf.co.uk/Press/Oil\\_Consumption.aspx](http://www.bpf.co.uk/Press/Oil_Consumption.aspx). 4.4.2013.
- DOW. 2007. Product Safety Assessment Ethylene.  
[http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh\\_00bf/0901b803800bfd21.pdf?filepath=productsafety/pdfs/noreg/233-00280.pdf&fromPage=GetDoc](http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_00bf/0901b803800bfd21.pdf?filepath=productsafety/pdfs/noreg/233-00280.pdf&fromPage=GetDoc). 31.8.2013.
- Ekstruusio eli suulakepuristus. Muovimuotoilu. 2013.  
<http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/50/83/>. 15.3.2013.
- Euroopan Komissio. Etenemissuunta kohti resurssitehokasta Eurooppaa. Bryssel. 2011. S. 2, 7-8. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0571:FIN:FI:PDF>. 28.2.2013.
- Euroopan Unionille uusi jätedirektiivi. 2008. Ympäristöministeriö.  
<http://valtioneuvosto.fi/ajankohtaista/tiedotteet/tiedote/fi.jsp?oid=245543> 26.12.2013.
- European environment agency. Total greenhouse gas emissions by sector (%) in EU-27, 2009. 2012. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/total-greenhouse-gas-emissions-by-sector-in-eu-1>. 1.9.2013.
- European environment agency. Observed trends in total global total concentration of the Kyoto gases 1850-2010. 2013.  
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/observed-trends-in-the-kyoto-gases-1>. 1.9.2013.
- Graedel, T.E, Allenby B.R. 2010. Industrial ecology and sustainable engineering. Upper Saddle River. Pearson Education.
- Halogenoidut hiilivedyt. Ilmasto opas. SYKE. Aalto-yliopisto. YTK. Ilmatieteen laitos. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/08b056f8-7d77-4e27-a3a3-be1191728261/halogenoidut-hiilivedyt.html>. 8.9.2013.
- Happamoituminen. Energiateollisuus. 2013. <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/ymparisto-ja-kestava-kehitys/ymparistovaikutukset/happamoituminen> 26.12.2013
- Hiilen kiertokulku. Ilmasto-opas. SYKE. Aalto-yliopisto. YTK. Ilmatieteen laitos. <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/1e92115d-8938-48f2-8687-dc4e3068bdbd/hiilidioksidi-ja-hiilen-kiertokulku.html>. 8.9.2013.
- Hollström, P. muistiinpano 24.4.2013
- Hopewell, J., Dvorak, R. & Kosior E. 2009. Plastics recycling; challenges and opportunities. National Center for biotechnology information.  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2873020/>. 8.4.2013.
- Ihmisarvoinen elämä kaikille. 2013. Euroopan komissio. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0092:FIN:FI:PDF> 26.12.2013.



- Järvi-Kääriäinen, T., (toim) & Ollila, M (toim). 2007. Toimiva pakkaus. Helsinki.Hakapaino.
- Järvinen, P. 2000. Muovin suomalainen käsikirja. Porvoo. WS Bookwell Oy
- Jätealan lainsäädännön uudistus pähkinäkuoressa. 2013. Ympäristöministeriö.  
[http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Jatelainsaadanto/Jatelainsaadanto\\_edistaa\\_luonnonvarojen\\_\(1680\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Jatelainsaadanto/Jatelainsaadanto_edistaa_luonnonvarojen_(1680)) 26.12.2013
- Jätealan lainsäädännön uudistus pähkinän kuoressa. kalvosarja. 2013.  
[http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Ymparistonsuojelun\\_valmist\\_eilla\\_oleva\\_lainsaadanto/Jatealan\\_lainsaadannon\\_kokonaisuudistus/Jatealan\\_lainsaadannon\\_kokonaisuudistus%283614%29](http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Ymparistonsuojelun_valmist_eilla_oleva_lainsaadanto/Jatealan_lainsaadannon_kokonaisuudistus/Jatealan_lainsaadannon_kokonaisuudistus%283614%29). 26.12.2013
- Jätelainsäädännön kokonaisuudistus. 2013. Teknologiateollisuus.  
<http://www.teknologiateollisuus.fi/fi/a/jatelaki.html>. 12.3.2013.
- Jätelaki. 646/2011.
- Kasvihuonekaasut lämmittävät. Ilmasto-opas. SYKE. Aalto-yliopisto. YTK. Ilmatieteen laitos. <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/3a576a6e-bec5-44bc-a01d-11497ebdc441/kasvihuonekaasut-lammittavat.html>. 8.9.2013.
- Korhonen, J. 2002. Two paths to industrial ecology: applying product based and geographical approaches. (Artikkeli) Journal of environmental planning and management.
- Korhonen, J. 2004b. Industrial ecology in the strategic sustainable development model: strategic applications of industrial ecology. (Editorial article). Journal of Cleaner Production 12. Pp. 809-823.
- Korhonen, J. 2005. Industrial Ecology for Sustainable Development: Six Controversies in Theory Building. Environmental Values 14. Pp. 83-112.
- Korhonen, J., Seppälä, J. & Pihlatie, K. 2008. Teollinen ekologia yhteiskunnan vaikuttajana. S. 54. Ympäristö ja terveys.  
[http://www.teollinenekologia.fi/documents/YT5\\_2008ss54\\_58.pdf](http://www.teollinenekologia.fi/documents/YT5_2008ss54_58.pdf). 3.3.2013.
- Kurri, V., Malén, T., Sandel, I R. & Virtanen, M. 1999. Muovitekniikan perusteet. Helsinki. Hakapaino Oy.
- Lisäaineet. Muovimuotoilu. 2013.  
<http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/158/222/>. 15.3.2013.
- Mitä on kestävä kehitys. 2013. Ympäristöministeriö. [http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Kestava\\_kehitys/Mita\\_on\\_kestava\\_kehitys](http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Kestava_kehitys/Mita_on_kestava_kehitys). 26.12.2013.
- Myllymaa, T. & Dahlbo, H. 2012. YMra 24/2012 Elinkaariarviointien käyttö Suomen jätehuollon ympäristövaikutusten tarkastelussa. Ympäristöministeriö.  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=424714&lan=fi&clan=fi>. 13.3.2013.
- Mäkelä K. 2009. Konttialusten yksikköpäästöt. VTT.  
<http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/vesiliikenne/kontti.htm> 26.12.2013

- Otsonikato. Suomen ympäristökeskus. 2013. [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Otsonikerroksen\\_suojelu/Otsonikato\\_26.12.2013](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Otsonikerroksen_suojelu/Otsonikato_26.12.2013).
- Otsonikerroksen suojelu. Suomen ympäristökeskus. 2013. [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Otsonikerroksen\\_suojelu](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Otsonikerroksen_suojelu). 26.12.2013.
- Plastic packaging: born to protect. 2012. PlasticsEurope [http://www.plasticseurope.org/documents/document/20120910105214-final\\_pe\\_packaging\\_en\\_310812.pdf](http://www.plasticseurope.org/documents/document/20120910105214-final_pe_packaging_en_310812.pdf). 13.3.2013.
- Plastics Recyclers Europe. 2013. Mechanical recycling. <http://www.plasticsrecyclers.eu/mechanical-recycling>. 4.4.2013.
- Plastipedia. 2013. Plastic processes. Blown film. [http://www.bpf.co.uk/Plastipedia/Processes/Blown\\_Film.aspx](http://www.bpf.co.uk/Plastipedia/Processes/Blown_Film.aspx). 4.4.2013.
- Pré Consultants. SimaPro 7, Database Manual, Methods library. Report version 2.4. 2010.
- Rehevoityminen. Ympäristökeskus. 2013. [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi\\_ja\\_meri/Vesistojen\\_kunnostus/Jarvien\\_kunnostus/Kunnostus\\_tarvetta\\_aiheuttavia\\_tekijoita/Rehevoityminen](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi_ja_meri/Vesistojen_kunnostus/Jarvien_kunnostus/Kunnostus_tarvetta_aiheuttavia_tekijoita/Rehevoityminen) 26.12.2013
- SFS-EN ISO 14040. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. S. 8. 24.26 Periaatteet ja pääpiirteet. Helsinki. 2006
- SFS-EN ISO 14044. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. Helsinki. 2006.
- Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2012. Tilastokeskus. 2013. [http://www.stat.fi/til/khki/2012/khki\\_2012\\_2013-05-16\\_kat\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/khki/2012/khki_2012_2013-05-16_kat_001_fi.html) 26.12.2013
- Suomen teollisen ekologian seura ry. 2010. Teollinen ekologia. [www.teollinenekologia.fi/index.html](http://www.teollinenekologia.fi/index.html) 26.2.2013
- Suomen ympäristöpolitiikan tuloksellisuutta arvioiva raportti. OECD. 2009. <http://www.oecd.org/finland/44305513.pdf> 18.8.2013
- Tammela V. 1987. Polymeeritiede ja muoviteknologia. Osa III. Espoo. Otakustantamo
- Tuotteiden ekologinen suunnittelu eli ekodesign. Työ- ja elinkeinoministeriö. 2013. <http://www.tem.fi/index.phtml?s=3900>. 7.5.2013.
- Tuotteiden ekologinen suunnittelu eli ekodesign. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. 2013. <http://www.ekosuunnittelu.info/yleista/tietoa/ekosuunnittelu> 7.5.2013
- VTT. 2012. Lipasto. Tavaraliikenne. Tie liikenne. [http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/tieliikenne/tavara\\_tie.htm](http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/tieliikenne/tavara_tie.htm). 2.5.2013.
- VTT. 2012. Lipasto. Tavaraliikenne. Vesiliikenne. [http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/vesiliikenne/tavara\\_vesi.htm](http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/vesiliikenne/tavara_vesi.htm). 2.5.2013.
- YK:n kestävän kehityksen työ. 2013. Ympäristöministeriö. [http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Kestava\\_kehitys/YKn\\_kestavan\\_kehityksen\\_tyo](http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Kestava_kehitys/YKn_kestavan_kehityksen_tyo) 17.9.2013.
- Zbicinski I. Stavenuiter, J., Kozlowska, B. & van de Coevering H. 2006. Product design and life cycle assessment. Uppsala. The Baltic University Press

- 94/62/EY Direktiivi pakkauksista ja pakkausjätteistä. 1994. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:15:13:31994L0062:FI:PDF>.8.4.2013.
- 2004/12/EY Direktiivi pakkauksista ja pakkausjätteestä annetun direktiivin 94/62/EY muuttamisesta. 2004. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0012:FI:NOT>.8.4.2013.

## Liitteet

Liite 1 Raaka-aineiden ja jätteiden kuljetus

## Liite 1

Raaka-aineen nimi									
Tieliikenteen laadulliset tiedot					Tieliikenteen päästötiedot				
Kuljetustiedot		Tietolähde	Ajallinen kattavuus	70% kuorma	g/tkm		RA-tonnia	tkm	päästö g
Kuorma-autotyyppi				Hiili monoksidi				0	0,0
Kokonaismassa				Hiilidioksidi				0	0,0
Kantavuus				Hiilivedyt				0	0,0
RA-tilaukset KA				Metaani				0	0,0
RA käyttö tuotettua tonnia kohden				Typpi monoksidi				0	0,0
Paluukuorma				Rikkidioksidi				0	0,0
Vesiliikenteen laadulliset tiedot					Vesiliikenteen päästöt				
Kuljetustiedot		Tietolähde	Ajallinen kattavuus	VTT vesiliikenne, konttialus		Kulj. matka	RA-käyttö	Päästöt	
Alue					g/tkm	km	tonnia	tkm	päästö g
Laivatyyppi				Hiilimonoksidi				0	0,00
Kantavuus				Hiilidioksidi				0	0,00
RA-tilaukset KA				Hiilivedyt				0	0,00
RA käyttö tuotettua tonnia kohden				Metaani				0	0,00
Paluukuorma				Typinmonoksidi				0	0,00
					Rikkidioksidi			0	0,00